ECONiT

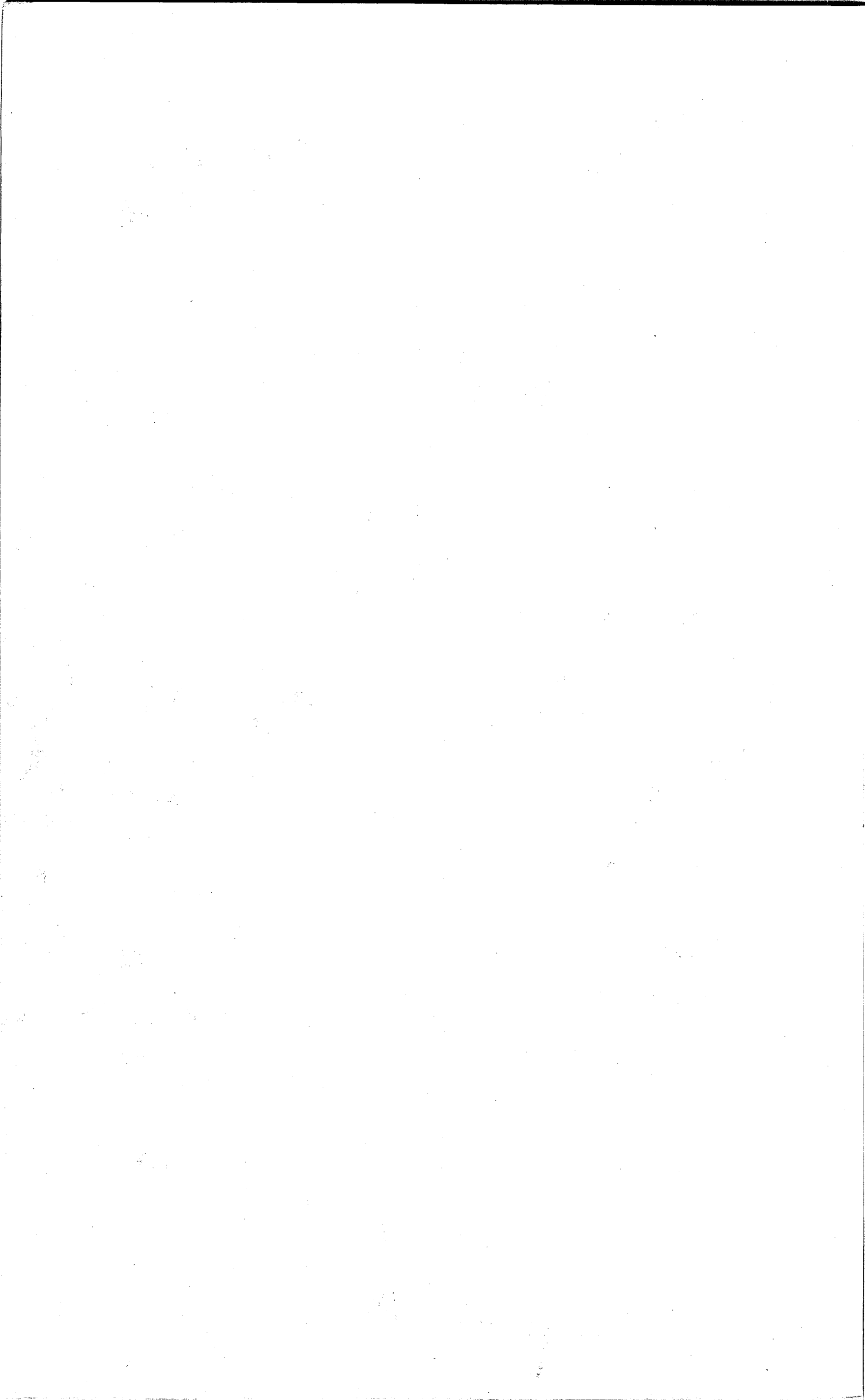
ROBERT GERWIN

SO IST DAS MIT DER KERNENERGIE

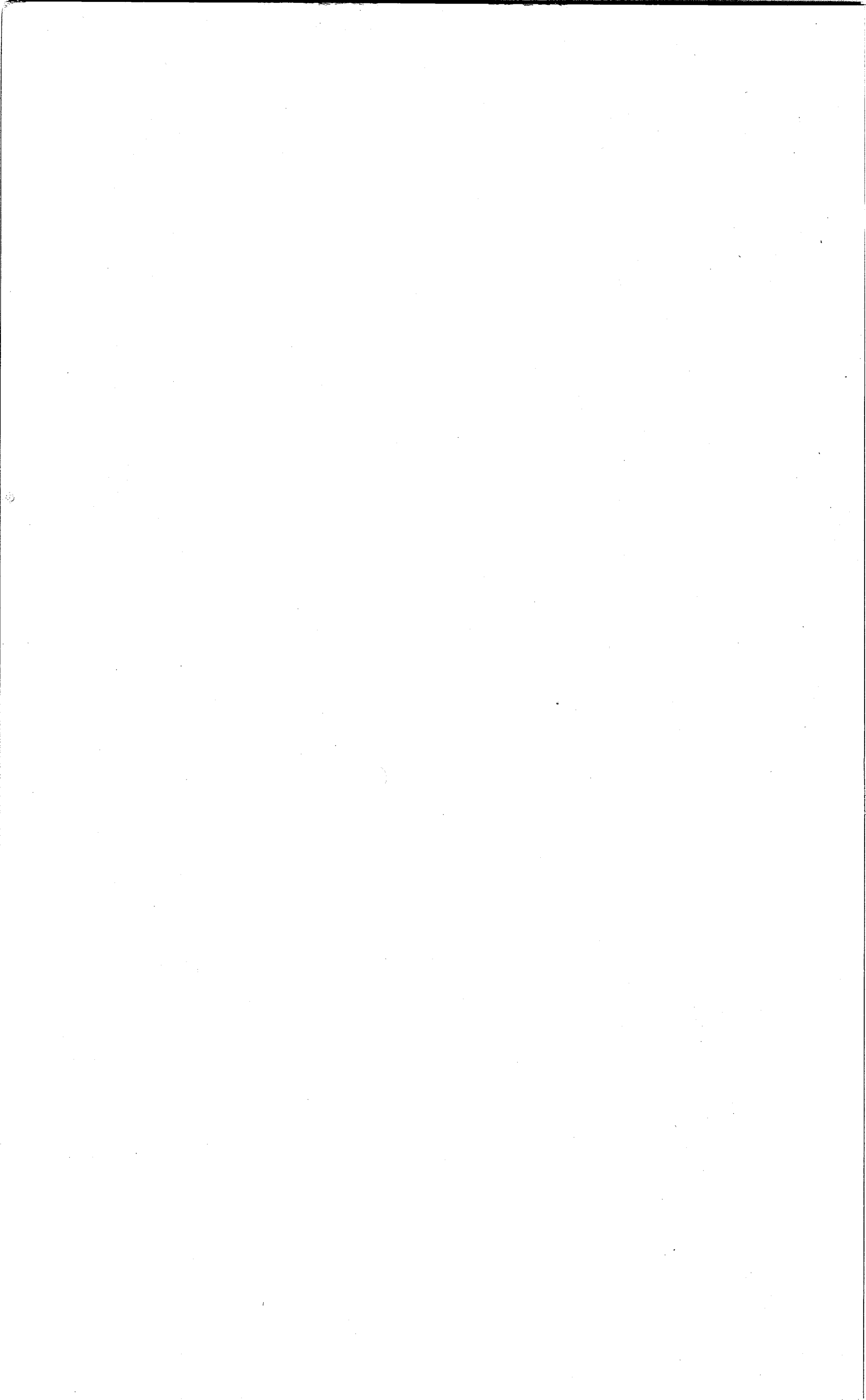
Von der Kernspaltung zum Strom



Überarbeitete Neuauflage



Robert Gerwin
So ist das mit der Kernenergie



Robert Gerwin

So ist das mit der Kernenergie

Econ Verlag
Düsseldorf · Wien

Bildnachweis

Titelbild und Bilder S. 92 – IK, Bonn
Bilder S. 53, 54, 57, 63, 65, 73, 107 u. 114 – Kraftwerk Union AG, Erlangen
Bilder S. 71 u. 142 – RWE Luftaufnahme Aerolux, Frankfurt, frei Reg.-Präsident, Darmstadt
Bild S. 66 – Foto Pickpack, Stade
Bild S. 10 – Foto von Jerry Gentry aus „Klar und Wahr", Juli/August 73, S. 3 Ambassador College
Bilder S. 48, 74, 81 u. 144 – RWE, Essen
Bilder S. 127, 129 – DWK, Hannover
Bild S. 136 – Kernforschungsanlage Jülich
Foto S. 152, 156 – Zefa, Düsseldorf
Bild 135 – GWK, Eggenstein-Leopoldshafen 2

Überarbeitete Neuauflage Mai 1978

Redaktion: AfM, Düsseldorf
Illustrationen: Bernd Meier
Gesetzt aus der 10 Punkt Times der Firma Berthold AG, Berlin
Satz: Aske+Kleine-Möllhoff GmbH, Hattingen
Druck- und Bindearbeiten: Richterdruck, Würzburg
Printed in Germany
ISBN 3430132037

Inhalt



Vorwort

»Die Nutzung der Kernenergie wird sich politisch nur durchsetzen lassen, wenn der Bürger wahrheitsgemäß und umfassend über alle ihre Risiken informiert wird. Es muß über alles offen und klar geredet werden.«

Es war Bundespräsident Walter Scheel, der dies im Februar 1977 bei der Verleihung des Theodor-Heuss-Preises im Rahmen einer eingehenden Auseinandersetzung mit der Rolle der Bürgerinitiative und der öffentlichen Diskussion der Kernenergieentwicklung sagte. Bundeskanzler Helmut Schmidt hatte zuvor in Hamburg bei der Jahresversammlung der Max-Planck-Gesellschaft festgestellt: »Die Wissenschaft muß ihre Arbeit einsehbar und, soweit das geht, begreifbar machen. Deswegen sind auch populärwissenschaftliche Darstellungen nicht zu verachten.«

Dieses nunmehr in überarbeiteter Auflage vorliegende Buch ist ein Versuch, in dem von Bundespräsident Scheel und Bundeskanzler Schmidt angesprochenen Sinn die wissenschaftlich-technischen Grundlagen der friedlichen Kernenergienutzung einem breiten Leserkreis zugängig, einsehbar und begreifbar zu machen. Das Ziel ist die umfassende verständliche Information. Sie soll den Leser in die Lage versetzen, sich ein eigenes Urteil zu bilden.

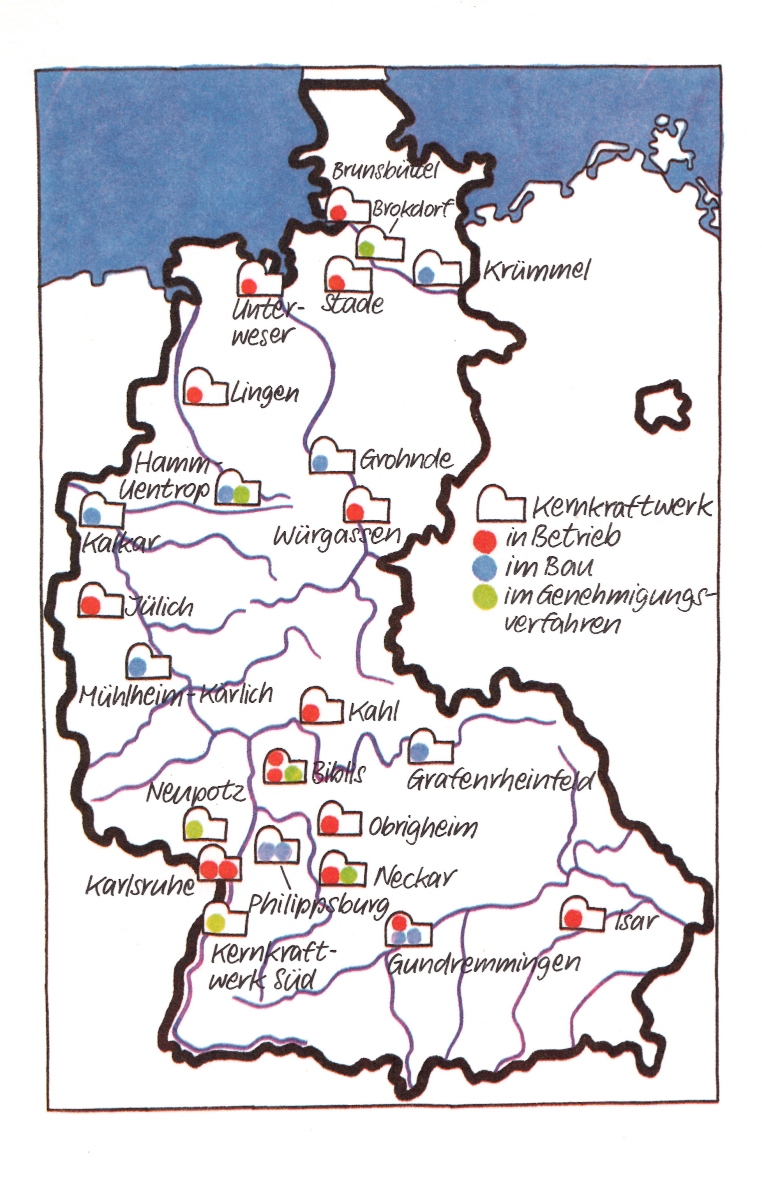
So setzt dieses Buch nicht die Reihe früherer Kernenergiebücher fort, als man sich noch in relativer Unbefangenheit darauf beschränken konnte, die

neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse und neuen Techniken zu bestaunen. Die Kernkraftwerke sind zwar nicht länger nur Hoffnung oder Versprechen, sie sind Wirklichkeit. Doch die Probleme, die sie aufwerfen, haben wir noch nicht alle gemeistert. Sie sind der eigentliche Gegenstand dieses Buches. Neben dem Pro gibt es auch dem Kontra Raum und versucht, die übergeordneten Zusammenhänge darzustellen.

Das Ergebnis ist ein Votum für die Kernenergie... einfach weil die mitunter mißtrauisch betrachteten, hier im einzelnen behandelten und nicht wegzudiskutierenden Sachargumente dafür sprechen. Auch die politischen Parteien der Bundesrepublik haben sich diesen Sachargumenten nicht entziehen können, so daß nunmehr auch politisch die Entscheidung für die Kernenergie gefallen ist.

Dabei wird, soweit als nur möglich, auf die für den Fachmann so wichtigen technischen und wissenschaftlichen Details verzichtet. Im Interesse der Übersichtlichkeit und Vereinfachung liegt auch die Beschränkung auf die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland, sofern es sich nicht um grundlegende und weltweite Überlegungen handelt. Diese wurden vor allem in meinem gleichfalls im Econ-Verlag erschienenen Buch »Prometheus wird nicht sterben« behandelt. Speziell dem Problem der Wiederaufarbeitung der verbrauchten Brennelemente und dem Verbleib der radioaktiven Abfälle ist mein in dieser Reihe erschienenes Buch »So ist das mit der Entsorgung« gewidmet.

Mai 1978 Robert Gerwin


Brunsbüttel
Brokdorf
Krümmel
Unterweser
Stade
Lingen
Grohnde
Hamm-Uentrop
Kalkar
Würgassen
Kernkraftwerk
in Betrieb
im Bau
im Genehmigungsverfahren
Jülich
Mühlheim-Kärlich
Kahl
Biblis
Grafenrheinfeld
Neupotz
Obrigheim
Karlsruhe
Philippsburg
Neckar
Isar
Kernkraftwerk Süd
Gundremmingen



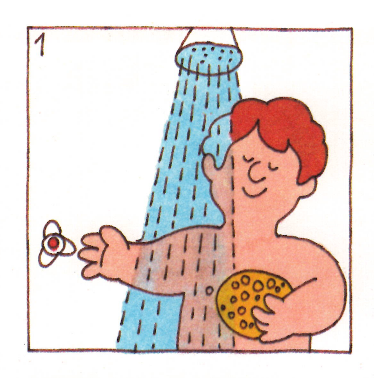
Der Blick auf einen Verschiebebahnhof für Kohlentransporte an der amerikanischen Ostküste gibt eine gewisse Vorstellung vom Energiehunger der Industrieländer.

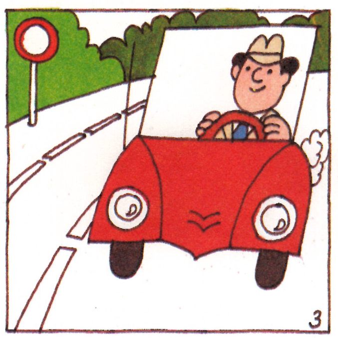
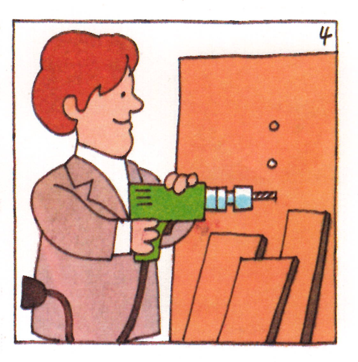
Warum die Kernenergie kommen mußte

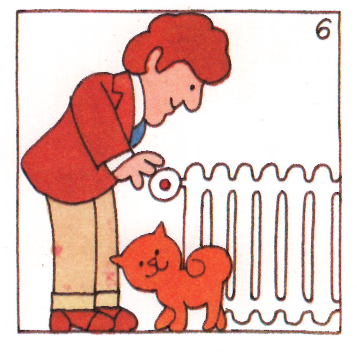
Damit wir in unserer zivilisationsfeindlichen Umwelt leben können

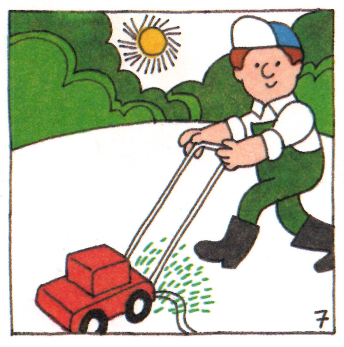
Wird das innere Energieversorgungssystem eines Menschen lahmgelegt, ist das letztlich das Ende seines Lebens. Sobald der Blutkreislauf stockt und die Zellen der lebensnotwendigen Organe nicht mehr versorgt werden, ist sein Schicksal besiegelt. Denn jede Art von Leben ist, physikalisch und chemisch gesehen, nichts anderes als Umsetzung von Energie. Das gilt für das winzige Pantoffeltierchen ebenso wie für eine Unkrautstaude oder ein hochentwickeltes Säugetier.

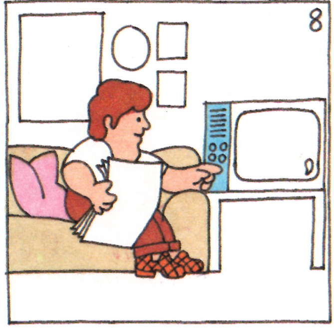
Das gleiche gilt für das Leben eines Staates, für das Leben der Gesellschaft schlechthin. Wollte jemand eine Volkswirtschaft aus den Angeln heben – es gibt ja heute Leute, die davon träumen –, wäre das wirkungsvollste Mittel dazu eine umfassende Störung ihrer Energieversorgung. Daß wir Menschen der nördlichen Breiten in unserer klimatisch recht feindlichen Umwelt auf die Dauer leben können – und das sogar ganz komfortabel –, verdanken wir einer großzügigen Energieverwendung, sei es nur in der Form von Heizwärme, sei es als elektrischer Strom zur Beleuchtung und als Arbeitshilfe oder sei es beim Betrieb unseres geliebten Autos. Ob wir den Wasserhahn aufdrehen, die Zeitung in die Hand nehmen oder Radio hören, ein Kleidungsstück kaufen oder ein Verkehrsmittel benutzen, immer steht dahinter der Einsatz von Energie. Nur mit Hilfe von Energie lassen sich die Güter unseres täglichen Bedarfs herstellen und trans-

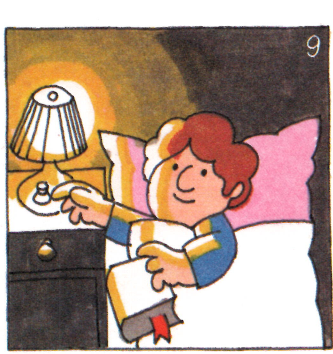

1

2

3

4

5

6







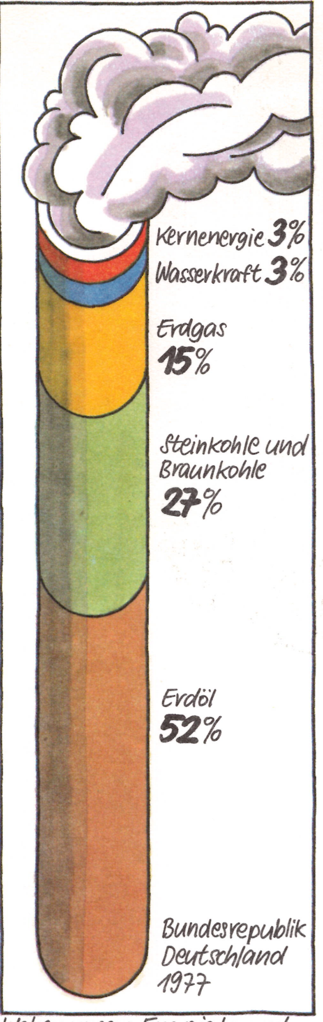
Vom frühen Morgen bis zum späten Abend sind wir nahezu ununterbrochen damit beschäftigt, in irgendeiner Weise Energie zu verwenden. Ob wir morgens die Brause aufdrehen (1) oder uns rasieren (2), ob wir mit dem Auto zur Arbeit fahren (3) und dort die Hilfe von Maschinen in Anspruch nehmen (4), ob wir das Essen zubereiten (5) oder heizen (6), ob wir einem Hobby nachgehen (7), uns mit Hilfe des Fernsehers die Welt ins Haus holen (8) oder »nur« Licht gebrauchen (9) – ständig verwenden wir Energie, zapfen wir die keineswegs unerschöpflichen Energievorräte der Erde an. Daß unsere Energiequellen nicht versiegen, ist keineswegs so selbstverständlich, wie es oft aussieht.

portieren. Nur mit Hilfe von technisch erschlossenen Energiequellen können wir so leben, wie wir leben und wie wir im großen und ganzen auch weiterleben möchten. Wer vom Energieverzicht um jeden Preis träumt, überschätzt meist, wieviel sich dadurch wirklich gewinnen läßt.

Es ist keineswegs selbstverständlich, daß immer und überall, wann immer wir auf den Knopf drücken, den Hahn aufdrehen oder an der Tankstelle vorfahren, Energie in jeder gewünschten Form und in jeder gewünschten Menge zur Verfügung steht. Über die Hälfte unseres Rohenergiebedarfs wird durch Mineralöl gedeckt. 94 Prozent davon müssen wir importieren. Dieses Mineralöl ist erdgeschichtlich eine Rarität und Kostbarkeit. Die ölexportierenden Länder wollen nicht mehr wie bisher den ständig steigenden Ölbedarf der Industrieländer decken. Die Kohleförderung läßt sich nicht ohne weiteres im notwendigen Umfang steigern, und gegen ihre Verwendung gibt es ja auch berechtigte Vorbehalte des Umweltschutzes. Die Wasserkräfte unseres Landes sind weitgehend ausgebaut, und wo das noch geschehen könnte, hagelt es Proteste.

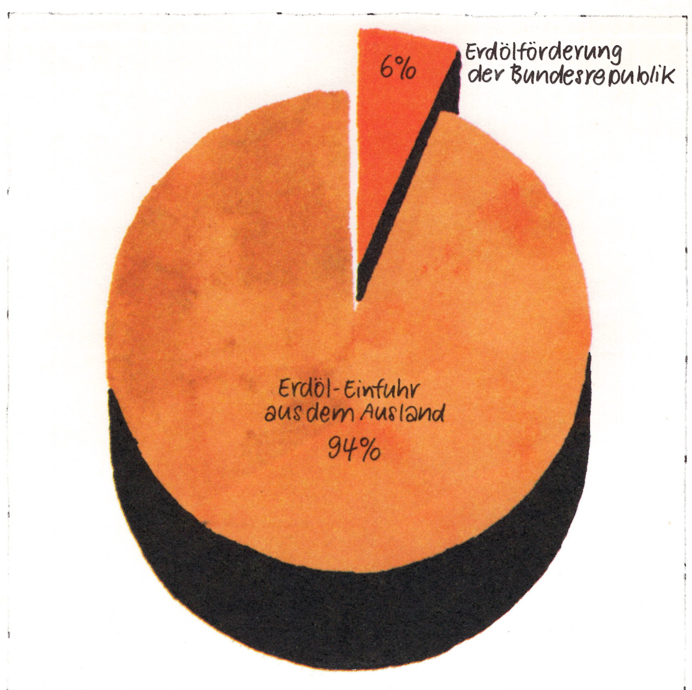
Als der Ölnachschub stockte

Wie anfällig unsere Energieversorgung ist, wurde Ende 1973 deutlich. Kaum stockte der Ölnachschub, mußten Auto-Fahrverbote erlassen werden. Die Sorglosigkeit, die bis dahin in Fragen der Energieversorgung herrschte, schlug plötzlich in Sorge um. Seitdem werden Fragen der Energieversorgung auch in der breiten Öffentlichkeit zunehmend diskutiert. Man



Woher unsere Energie kommt

Bereits über die Hälfte des Rohenergiebedarfs der Bundesrepublik mußte 1977 durch Erdöl gedeckt werden. Nur mit Sparen kommen wir aus dieser Energieabhängigkeit nicht heraus. Auch wer nur noch qualitatives Wachstum will – statt eines quantitativen – braucht mehr Energie, insbesondere hochwertige Energie wie elektrischen Strom.



Wieviel Erdöl wir 1974 einführen mußten

Nur zu einem sehr geringen Anteil kann die Bundesrepublik ihren Erdölbedarf aus eigener Förderung decken. 94 Prozent des von uns beanspruchten »Erdöl-Kuchens« kommen aus dem Ausland.

muß kein Nationalist sein, um die einseitige Abhängigkeit von den wenigen ölfördernden Ländern als erhebliche Belastung zu empfinden. Zunehmend wird die Exportbilanz durch Energiekosten belastet. Es lohnt sich also schon, unsere Energieversorgung auf eine breitere Basis zu stellen.

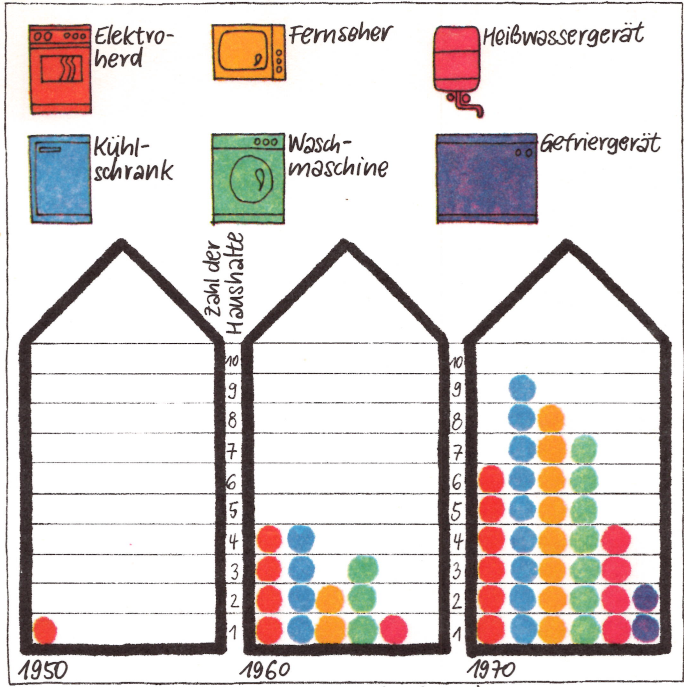
So wird verständlich, daß man bei uns nach neuen Energiequellen Ausschau hält. Dabei schrecken manche Leute nicht davor zurück, mit ausgesprochen exotischen Energiequellen wie der Erdwärme oder der Sonnenenergie zu liebäugeln. Einige denken sogar an eine Wiederbelebung der Windmühlen-Technik. Vor allem aber ist die Kernenergie in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Bei ihr handelt es sich nicht um ein fernes, zweifelhaftes Zukunfts-Versprechen. Sie ist inzwischen eine handgreifliche Realität. Schon arbeiten in der Bundesrepublik 14 Kernkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von 7200 Megawatt. Das größte davon in Biblis am Rhein besteht aus 2 Blöcken und hat eine Leistung von 2500 Megawatt. Das entspricht 2,5 Millionen Kilowatt. Jeder der beiden Blöcke reicht aus, um die Stadt Frankfurt und München zusammen einschließlich ihrer Industriebetriebe mit Strom zu versorgen. Dabei arbeitet Biblis, auch wenn man das heute nicht immer gerne hört, sehr preiswert. Obgleich beide Blöcke zusammen an die 2 Milliarden DM gekostet haben, konnte der damalige Bundesminister Dr. Hans Friderichs bei der Übergabefeier feststellen: »Es ist einfach eine Tatsache, daß die Stromerzeugungskosten pro Kilowattstunde in der Grundlast bei der Steinkohle fast doppelt so hoch sind wie bei der Kernenergie.«

Ohne Energie keine Waschmaschine

Eine moderne Industriegesellschaft hat vor allem Bedarf an Wärme und Antriebsleistung, zum Beispiel für die Gewinnung von Rohstoffen oder den Betrieb von Eisenbahnen und Kraftfahrzeugen. Diese Energie wird überwiegend aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Das sind Kohle, Öl und Erdgas. Stoffe also, die wie Fossilien – daher der Name – Reste urweltlicher Lebewesen und Pflanzen sind. Sie werden als Energieträger bezeichnet, denn sie sind nicht Energie an sich. Sie liefern erst Energie, wenn man sie mit Sauerstoff der Luft reagieren läßt, wenn sie verbrennen oder – etwa in einem Kraftfahrzeugmotor – ihren Energieinhalt explosionsartig freisetzen können. Diese fossilen Energieträger speisen auch die herkömmlichen Elektrizitätswerke, sieht man einmal von den Kernkraftwerken und den wenigen Wasserkraftwerken ab.

So ist elektrische Energie zwar »nur« eine sekundäre Energieform, aber eine besonders bevorzugte und wichtige Energie. Elektrischer Strom ist sauber und läßt sich leicht einsetzen. Er leistet Arbeit mit Hilfe von Motoren. Der Anteil der elektrischen Energie am gesamten Energieverbrauch nimmt ständig zu. Besonders stark steigt der Verbrauch an elektrischer Energie in den Haushalten an. Die Zahl der Elektroherde und Kühlschränke, Fernseher und Waschmaschinen, Heißwasserbereiter und Gefriergeräte wächst ständig.

Der Energieverbrauch in der Bundesrepublik nahm bis Mitte der siebziger Jahre pro Jahr durchschnittlich um etwa 3,5 Prozent zu. Das heißt: innerhalb von



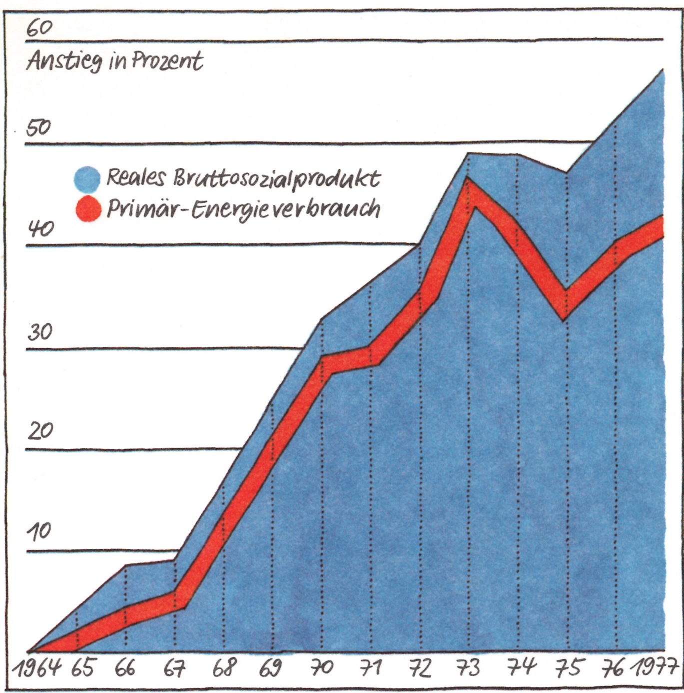
Wachsender Komfort durch elektrische Energie

Die Steigerung des Energieverbrauchs ist beim elektrischen Strom seit Jahrzehnten besonders groß. Ursache dafür ist unter anderem die steigende Zahl von elektrischen Hausgeräten. Während 1950 auf zehn Haushalte nur ein ganzer Elektroherd entfiel, waren es 1970 bereits sechs Herde, neun Kühlschränke, acht Fernseher, sieben Waschmaschinen, vier Heißwassergeräte und zwei Gefriergeräte. Diese Entwicklung steuert zwar einer gewissen Sättigung zu, doch auch in anderen Bereichen der Wirtschaft hält die Tendenz an, andere Energieträger durch elektrischen Strom zu ersetzen.

20 Jahren verdoppelte er sich. Der Elektrizitätsverbrauch allein stieg jedoch jährlich sogar um etwa 7,5 Prozent. Das entspricht einer Verdoppelung innerhalb von nur 10 Jahren.

Angesichts dieser rapiden Entwicklung haben viele das ungute Gefühl, so könne und dürfe es auf die Dauer nicht weitergehen. Andererseits sollte sich niemand Illusionen darüber machen, was es praktisch bedeutet, wenn der Anstieg des Energieverbrauchs wirklich zum Stehen kommt oder der Verbrauch gar zurückgeht: 1974 erreichte die Steigerung des Stromverbrauchs in der Bundesrepublik statt der die Jahre zuvor üblichen 7 Prozent nur noch 3,5 Prozent. Der Energieverbrauch insgesamt nahm sogar um 3,2 Prozent ab. Dieser Rückgang war nur zu einem kleinen Teil dem »Ölschock« und einem erhöhten Energiebewußtsein zuzuschreiben. In erster Linie hatte der wirtschaftliche Abschwung, insbesondere der Produktionsrückgang bei energieintensiven Industriezweigen wie der Stahlindustrie, den Energieverbrauch gemindert.

Unterdessen wird für die Zukunft eine deutliche Abschwächung der jährlichen Zuwachsrate des Energieverbrauchs erkennbar. Die Energieexperten erwarten in der Bundesrepublik für den Energieverbrauch insgesamt nur noch einen jährlichen Zuwachs von 2 bis 3 Prozent, für den Stromverbrauch von knapp 6 Prozent. Doch, so erfreulich diese Tendenz auch ist, es bleibt bei einem Wachstum, das befriedigt werden muß.



Entwicklung des Primär-Energieverbrauchs im Vergleich zum Bruttosozialprodukt in der Bundesrepublik von 1964 bis 1977

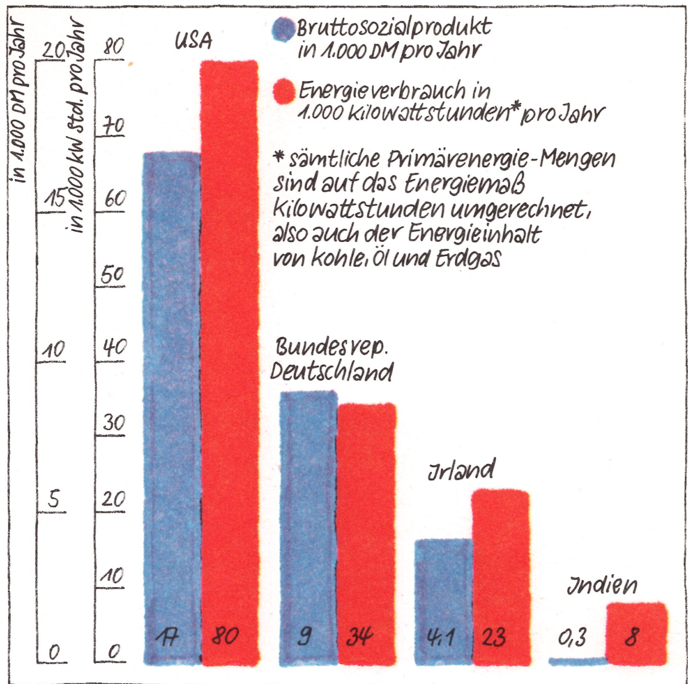
Der Verbrauch an Energie und der Lebensstandard eines Landes hängen eng miteinander zusammen. Das zeigt die prozentuale Zunahme des Bruttosozialprodukts – was der einzelne Bürger im Laufe eines Jahres an Produktionsgütern herstellt – im Vergleich zur Zunahme des Energieverbrauchs insgesamt (Primär-Energieverbrauch) für die Bundesrepublik. Daraus ist zu folgern: Unsere hohe Produktivität ist ohne ein entsprechend hohes Maß an bereitgestellter Energie nicht möglich.

Mehr Energie heißt weniger Hunger

In der Tat erscheint es dringend notwendig, den Energieverbrauch nicht ins Uferlose wachsen zu lassen. Einerseits sind unsere Energiereserven nicht unerschöpflich, andererseits ist die zusätzliche Wärmeproduktion des steigenden Energieverbrauchs – alle Energie wandelt sich letztlich in Wärme um – auf die Dauer von der Erde klimatisch nicht zu verkraften. Doch man muß auch sehen, daß Energieverbrauch und Lebensstandard eng miteinander verkoppelt sind. Lebensstandard drückt sich in dem aus, was pro Kopf der Bevölkerung produziert wird, dem sogenannten Sozialprodukt. Länder mit hohem Energieverbrauch haben ein hohes Sozialprodukt. Das ist kein Zufall. Höhere Produktivität setzt mehr Maschinen zur Arbeitsverrichtung voraus. Für diese Maschinen muß mehr Energie bereitstehen. Außerdem kann sich in Ländern mit hohem Sozialprodukt der einzelne mehr energieverbrauchende Geräte – zum Beispiel: Waschmaschinen, Fernsehgeräte, Autos – leisten. Er wird außerdem mehr heizen und mehr warmes Wasser verbrauchen.

Die hochtechnisierten Länder machen ein Fünftel der Weltbevölkerung aus. Aber sie verbrauchen etwa zwei Drittel des gesamten Energieaufkommens der Welt. Natürlich wollen auch die restlichen vier Fünftel der Weltbevölkerung ein größeres Stück von dem »Energie-Kuchen« abbekommen. Auch sie streben ein größeres Sozialprodukt an und wollen persönlich besser leben.

Außerdem hält in diesen Ländern zum Teil noch



Wie die Produktivität dem Energieverbrauch entspricht, bezogen auf den Kopf der Bevölkerung (Vergleichsjahr 1968)

Zwischen den technisierten Ländern und den Entwicklungsländern besteht ein krasses Gefälle im Bruttosozialprodukt und im Energieverbrauch. Es erscheint dringend notwendig, dieses Gefälle etwas zu mindern, einerseits, indem in den technisierten Ländern alle sinnvollen Möglichkeiten zum Energie-Sparen genutzt werden, andererseits, indem auch die Entwicklungsländer die Chance bekommen, durch verstärkten Energie-Einsatz ihre Produktivität zu erhöhen. Seit 1968, dem Jahr, aus dem die Zahlen dieser Statistik stammen, ist das Gefälle zwischen den armen und den reichen Ländern eher größer als kleiner geworden.

die Bevölkerungsexplosion an. Die Zahl der zu versorgenden Menschen nimmt hier ständig zu. Darum ist weltweit schon gar nicht so bald an einen Stopp der jährlichen Energie-Steigerungsrate zu denken. Wer in Armut lebt, läßt sich kaum davon abhalten, mehr Energie zu verbrauchen, wenn sich ihm dadurch die Möglichkeit eröffnet, weniger hungern zu müssen.

Für die hochtechnisierten Länder stellt sich darüber hinaus mehr und mehr ein Problem, das bisher kaum eines war: die Verbrauchsgüter wieder aufzuarbeiten. Wir gehen den Weg von der Wegwerf-Gesellschaft zur Wiederverwendungs-Gesellschaft. Das hat seinen Grund darin, daß die natürlichen Rohstoffvorräte – vor allem die Metall-Erze – mehr und mehr zu Ende gehen. Auch diese Wiedergewinnung von Rohstoffen ist mit dem Einsatz von Energie verbunden. Das gleiche gilt für die aus Gründen der Umwelt-Entlastung geforderten Reinigungsprozesse bei Abluft und Abwasser. Auch dafür muß in Zukunft mehr Energie bereitgestellt werden.

Wie groß die Vorräte sind

Aber wo soll das hinführen? – Sowohl Erdgas als auch Erdöl stehen nur sehr begrenzt zur Verfügung. Die Erde hat Jahrmillionen benötigt, um diese urzeitlichen Reste von Pflanzen und Lebewesen zu speichern und umzuwandeln. Jetzt brauchen wir all das innerhalb weniger Jahrzehnte auf. Auf etwa 100 Milliarden Tonnen Erdöl werden die derzeit nachgewiesenen Vorräte auf der Erde beziffert. Bei einer jährlichen Zunahme des Verbrauchs um 7,5 Prozent – das war

der Durchschnitt von 1962 bis 1972 – reichen sie gerade für 18 Jahre. Geht man statt der nachgewiesenen Vorräte von den geschätzten Erdölvorräten in Höhe von rund 300 Milliarden Tonnen aus, kommt man bei der gleichen Wachstumsrate gerade auf eine Zeitspanne von 30 Jahren. Wäre es möglich, den Erdölverbrauch ab sofort konstant zu halten, könnten wir von den nachgewiesenen Vorräten noch 35 Jahre, von den geschätzten Vorräten noch 110 Jahre zehren.

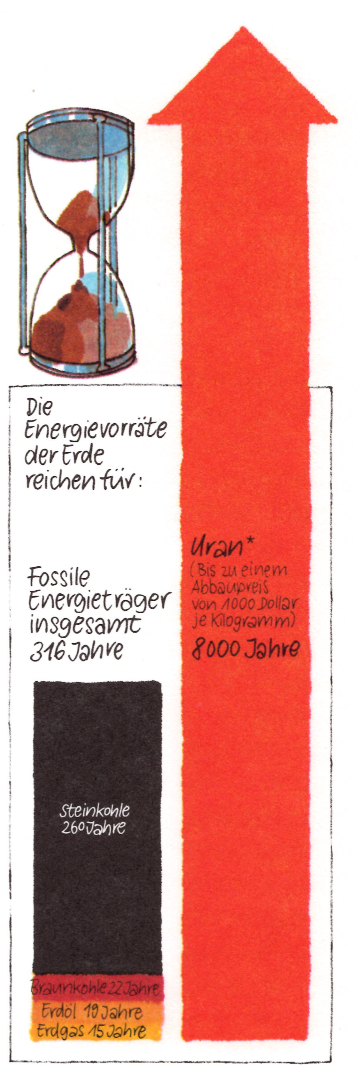
Daß uns das Erdöl nur bedingt zugängig ist, macht die Sache noch schwieriger. Man wirft den ölexportierenden Ländern am Persischen Golf, am Roten Meer und in Nordafrika mitunter politische Unzuverlässigkeit und Kurzsichtigkeit vor. Sieht man einmal von einigen emotional bestimmten Verhaltensweisen der Vergangenheit ab, muß man den leitenden Männern dieser Länder jedoch bescheinigen, Realpolitiker zu sein. Sie haben die Erfahrung gemacht, daß ihnen das viele Geld, das sie für ihr Öl einnehmen, gar nicht so viel nützt, wie sie wohl ursprünglich glaubten. Den meisten ölexportierenden Ländern fehlt es daher an einem einleuchtenden Motiv, ihre Bodenschätze im bisherigen Umfang weiter abzubauen oder die Ausbeutung gar noch zu steigern.

Und weil ihre Schätze immer knapper und daher immer kostbarer werden, liegt es für die Förderländer nahe, ihre Vorräte vorerst weitgehend zu schonen. Der Schah von Persien, Reza Pahlewi, erklärte vor kurzem in einem Interview: »Die Zeit, da kostbares Erdöl zur Beheizung von Häusern und zur Elektrizitätserzeugung verschwendet wurde, gehört der Vergangenheit an.«

Angaben in Billionen Kilowattstunden = 10^{12} kWh	Bundesrepublik Deutschland	Welt
Fossile Energieträger insges.	484	63.100
Steinkohle	340	52.000
Braunkohle	140	4.400
Erdöl	1	3.700
Erdgas	3	3.000
Uran (bis zu einem Abbaupreis von 1000 Dollar je kg)	20	1,6 Millionen

Die nutzbaren Energievorkommen der Bundesrepublik und der Welt

Wie lange reichen die Energievorkommen der Erde? Bei gewissenhafter Schätzung der überhaupt abbaubaren Energievorräte kommt man – in elektrische Maßeinheiten umgerechnet – auf die in nebenstehender Tabelle (links) angegebenen Zahlenwerte. Geht man davon aus, die Weltbevölkerung würde nicht mehr wesentlich über die derzeit 4 Milliarden hinauswachsen und jedem Erdbewohner stünde die gleiche Energiemenge zur Verfügung wie derzeit jedem Bewohner der Bundesrepublik – durchschnittlich 50000 Kilowattstunden pro Jahr –, dann würden die in der Tabelle genannten Weltvorräte je für die in der Grafik (rechts) angegebenen Zeitspannen reichen. Auch wenn es sich dabei um fiktive Annahmen handelt, erhält man so eine gewisse Vorstellung vom Umfang der einzelnen Energievorräte.

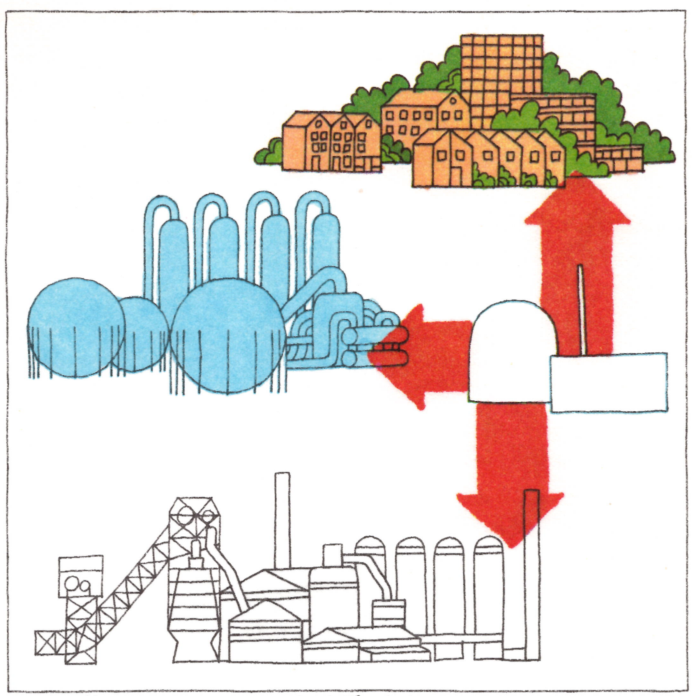


* Bei Einsatz von Schnellen Brütern

Bei der Kohle sieht es günstiger aus. Hier sind die bekannten wie geschätzten Vorräte etwa zehnmal so groß. So könnten die Steinkohle-Lagerstätten der Bundesrepublik bei gleichbleibendem Verbrauch 700 Jahre reichen. Doch schon bei einer jährlichen Zuwachsrate von 4 Prozent würde die Verfügbarkeit auf 85 Jahre schrumpfen.

Die Uranvorräte, als Grundlage für die Nutzung der Kernenergie, sind ebenfalls nicht unerschöpflich. Doch das Energiepotential, das uns mit ihnen erschlossen wird, ist wesentlich größer als das von Erdöl und Kohle. Es läßt sich außerdem durch kommende technische Entwicklungen wesentlich strecken. Zum Beispiel wird durch den Einsatz von Brutreaktoren das Uran rund sechzigmal besser genutzt. Dementsprechend reichen die Uranvorräte mit dieser Technik bei gleichbleibendem Verbrauch auch sechzigmal länger. Zudem spielen die Brennstoffkosten beim Betrieb von Kernkraftwerken eine viel geringere Rolle als bei Kohle- oder Öl-Kraftwerken. Selbst teures, weil nur unter hohem Aufwand gewinnbares Uran treibt die Stromerzeugungskosten nicht wesentlich in die Höhe. Darum werden sich auch weniger ergiebige Uranvorräte günstig ausbeuten lassen. Das bedeutet eine weitere Verhundertfachung des durch Kernkraftwerke erschließbaren Energiepotentials.

Sollte es eines Tages gar möglich werden, nicht nur durch Atomkern-Spaltung Energie zu erzeugen, sondern auch durch die Verschmelzung von Atomkernen in sogenannten Fusionsreaktoren, würde das Kernenergie-Potential noch einmal vertausendfacht.



Kernkraftwerke als Wärmequelle für Fernheizung, chemische und industrielle Produktion

Mit der Wärme, die ein Kernreaktor liefert, kann man nicht nur elektrischen Strom erzeugen. Sie eignet sich auch zur unmittelbaren Verwendung – etwa in einem Chemie- oder in einem Hüttenwerk – und zur Heizung unserer Städte. So können Kernkraftwerke zum Energiezentrum ganzer Industrie- und Siedlungskomplexe werden, vorausgesetzt, man scheut nicht ihre unmittelbare Nachbarschaft.

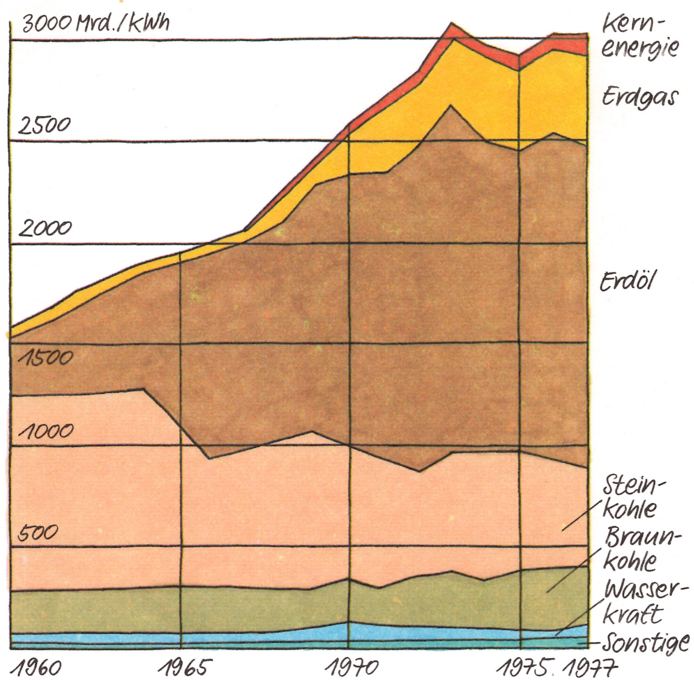
Auch als Wärmequelle und Exportartikel

Nun mag man einwenden, Kernkraftwerke seien ja nur Elektrizitätswerke, und auf die Stromerzeugung entfalle nur ein immer noch kleiner Teil unseres Energiebedarfs. Das gilt jedoch nur für den heutigen technischen Stand. Kernkraftwerke eignen sich auch ganz allgemein als Wärmequellen. Es ist abzusehen, daß man eines Tages Wärme aus Kernkraftwerken zumindest teilweise zur Heizung in die Städte leiten wird. Damit wird der Bedarf an fossiler Heizungsenergie verringert. Zugleich werden die Städte von den vielen kleinen, Rauchgas erzeugenden Heizungsöfen befreit. Schon gibt es Hochtemperatur-Reaktoren, die so viel Hitze liefern, daß man damit Eisenerz verhütten und künstliche Treibstoffe erzeugen könnte.

Und noch etwas ist zu bedenken: Die Bundesrepublik ist in hohem Maße auf Export angewiesen. Nur wer auf dem Weltmarkt etwas anbieten kann, das andere noch nicht haben und andere nicht liefern können, ist ein begehrter Partner. Vor zehn Jahren war das der Volkswagen, heute sind es die Kernkraftwerke.

So wurde im Sommer 1975 ein kerntechnisches Kooperations-Programm zwischen Brasilien und der Bundesrepublik Deutschland vereinbart. Es sieht vor, bis zum Jahre 1990 acht Kernkraftwerke zu errichten. Die deutsche Firma »Kraftwerk Union« wird zunächst technisches Know-how und die wichtigsten Komponenten für zwei Kernkraftwerke vom Typ Biblis liefern. Mit den Bauarbeiten wurde bereits begonnen.

Die Bundesrepublik erhielt im Rahmen dieses Programms Zugang zu den reichen Uranerz-Vorkommen



Wie in der Bundesrepublik in den letzten Jahren die Abhängigkeit vom Erdöl immer größer geworden ist

Der Anteil des Erdöls am Energiebedarf der Bundesrepublik ist während der letzten Jahrzehnte immer größer geworden. Das geschah nur zum Teil auf Kosten der Steinkohle. Nur so ließ sich der steil ansteigende Bedarf weiterhin decken. Der Anteil der Kernenergie ist demgegenüber noch recht bescheiden.

Brasiliens. Das bedeutet eine sicherere Versorgung mit Kernbrennstoff für die nächsten Jahrzehnte. Die leistungsfähige, gegenüber amerikanischen Unternehmen konkurrenzfähige deutsche Kernkraftwerkindustrie bot das Fundament für dieses Abkommen.

Am Persischen Golf sind zur Zeit 1500 deutsche und 5000 einheimische Arbeiter dabei, zwei weitere »Biblis-Kernkraftwerke« für den Iran zu errichten. So lassen sich die laufend für die Erdölimporte aufgewendeten Milliardenbeträge zum Teil wieder zurückholen.

Das Export-Argument überzeugt um so mehr, als die krasse Erhöhung der Ölpreise auch für die Bundesrepublik zu einem erheblichen Aderlaß an ausländischen Zahlungsmitteln geführt hat. 1974 sind allein als Folge der Preiserhöhung etwa 17 Milliarden DM zusätzlich in die ölexportierenden Länder geflossen. Doch im Gegensatz zu den USA, die sich bis 1985 in der Energieversorgung ganz auf eigene Füße stellen und sich vom Ausland unabhängig machen wollen, werden wir stets auf den Import von Energieträgern angewiesen sein.

Was die Zukunft von uns fordert

Kurz und gut: Die Kernenergie mußte kommen. Sie ist notwendig, um uns von der Gefahr der drohenden Energieverknappung zu befreien, um die Abhängigkeit von den ölproduzierenden Ländern zu mildern, und schließlich, um uns eine preiswerte und auf lange Zeit nicht so bald erschöpfliche Energiequelle zu sichern. Eine solche Chance muß genutzt werden, auch wenn sie neue Probleme mit sich bringt.

Auf eine parlamentarische Anfrage hat das Bundesministerium des Innern am 16. Juli 1975 geantwortet: »Die Bundesregierung ist der Meinung, daß die wichtigen sicherheitstechnischen und ökologischen Probleme der Kernenergie soweit geklärt sind, daß eine Nutzung dieser Energieform für die Bundesrepublik Deutschland sinnvoll und mit dem Schutz der Bevölkerung vor Gefahren vereinbar ist. Die Bundesregierung warnt allerdings vor einer Unterschätzung der besonderen Gefahren und Probleme der Technologie. Sie ist nicht bereit, an den in der Bundesrepublik Deutschland üblichen hohen Sicherheitsanforderungen Abstriche zuzulassen«.

Bundespräsident Walter Scheel hat in seiner berühmten Ansprache zur Verleihung des Theodor-Heuss-Preises im Februar 1977 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München festgestellt: »Ich habe in letzter Zeit mit vielen Experten über die Frage der Kernenergie gesprochen, und ich bin, trotz nicht unerheblicher Bedenken, zu dem Ergebnis gekommen, daß es notwendig ist, Kernkraftwerke zu bauen. Mit der Kernenergie sind Risiken verbunden, aber auch mit der Nichteinführung der Kernenergie sind Risiken verbunden. Ich halte diese Risiken für größer und gewichtiger. Die Vorstellung, wir könnten es uns leisten, auf die Kernenergie zu verzichten, und alles ginge weiter wie bisher, ist ein Irrtum.«

Daraus folgt: Da die Kernkraftwerke wesentlich unsere Zukunft mitgestalten werden, kommen wir nicht umhin, uns mit ihnen näher zu beschäftigen. Wir müssen wissen, worauf wir uns haben einlassen müssen, um auch in Zukunft leben zu können.



Pro und Kontra Kernenergie

Was dafür und was dagegen spricht

Thesen zur Diskussion des Pro und Kontra

Der Mensch ist ein zwiespältiges Wesen. Einerseits strebt er Weiterentwicklung und Veränderung an, andererseits ist er voller Skepsis gegen Neues, das in sein Leben tritt. Fast jede neue geistige Strömung, jede neue Kunstform und jede technische Veränderung wurde von den Menschen ihrer Zeit nicht nur gefeiert und begrüßt, sondern auch abgelehnt und bekämpft. Insofern wäre es ungewöhnlich, würde die Einführung der Kernenergie nicht auch auf Widerstand stoßen. Wir haben es hier nicht nur mit einer schon von den Grundlagen her neuartigen Energiequelle zu tun. Auch die Begleitumstände ihrer technischen Realisierung sind so neuartig, daß sie Skepsis hervorrufen müssen.

Bei allem Verständnis für menschliche Skepsis darf man jedoch nicht den Sinn für die Wirklichkeit, für die Realitäten einer neuen Entwicklung verlieren. Mangel an praktischer Erfahrung mit einer neuen Technik und Mangel an Grundlagen-Kenntnissen muß nicht automatisch Gefahr signalisieren. Und wenn sich herausstellt, daß mit einer neuen Entwicklung auch Nachteile verbunden sind – wie fast immer –, gebieten Fairneß und Vernunft, auch die Vorteile zu sehen. Es ist unerläßlich, beide nüchtern gegeneinander abzuwägen.

Aber wie ist das im einzelnen? Wo liegen bei der

Kernenergie die Probleme, was sind die Realitäten? Nachfolgend sind die in diesem Zusammenhang immer wieder auftauchenden Fragen, Überlegungen und Behauptungen – teils pro, teils kontra – thesenartig zusammengestellt und diskutiert. Das geschieht unabhängig davon, daß darauf in diesem Buch noch in anderem Zusammenhang im einzelnen eingegangen wird.

Kernkraftwerke sind extrem sicher, doch es besteht ein Restrisiko, für das eine ungewöhnlich geringe Eintreffwahrscheinlichkeit gilt.

Es gibt keine andere technische Entwicklung, bei der von Anfang an so viel getan wurde, um höchste Sicherheit zu erlangen. Sonst ist es bei technischen Entwicklungen üblich, erst aufgrund der Erfahrung mit Unfällen und Störungen die Sicherheit zu steigern. Bei Kernkraftwerken dagegen sind von vornherein umfangreiche technische Sicherheitseinrichtungen vorgesehen gewesen, um jeden technisch vorstellbaren schweren Störfall auszuschließen.

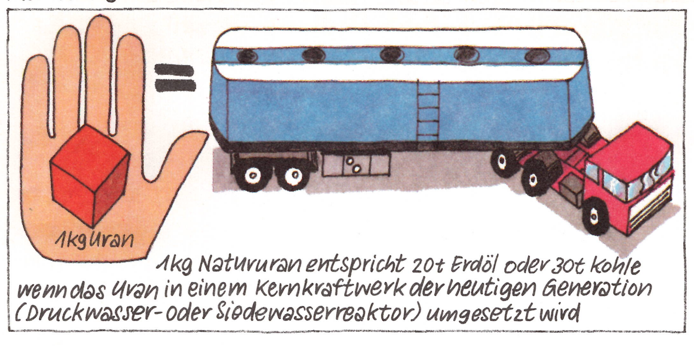
Der Erfolg hat diese Bemühungen bestätigt. Nicht in einem einzigen Fall sind bisher Menschen durch nukleare Unfälle in Kernkraftwerken zu Schaden gekommen. Die wenigen Betriebsstörungen sind immer ohne Gefährdung für die Umgebung verlaufen.

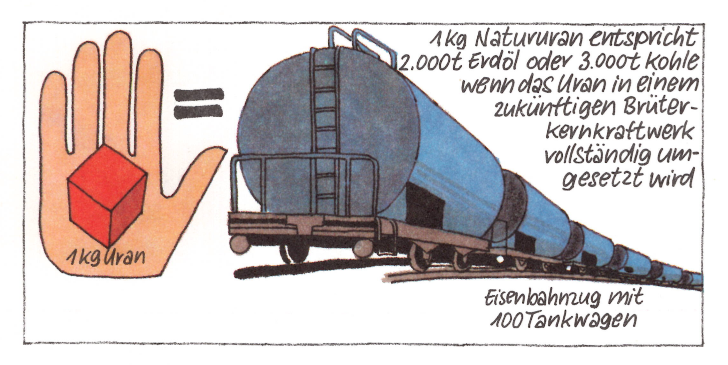
Andererseits kann man sich Unfälle theoretisch ausdenken, bei denen eben doch radioaktive Stoffe in größerem Umfang freigesetzt werden. Nur: Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher schweren Betriebsstörungen in der Praxis ist weitaus geringer

als der Absturz eines Flugzeuges in ein vollbesetztes Fußballstadion oder der Bruch eines Staudammes und das Fortspülen unterhalb gelegener Siedlungen. Die Eintreff-Wahrscheinlichkeit für eine schwere Reaktor-Betriebsstörung, bei der sämtliche normalen und für den Notfall zusätzlich vorgesehenen Kühleinrichtungen versagen, der Kernbrennstoff zusammenschmilzt und unkontrolliert radioaktive Stoffe freigibt, läßt sich allenfalls mit der Wahrscheinlichkeit vergleichen, daß in eine Stadt ein größerer Meteor einschlägt und zu nachhaltigen Verwüstungen führt.

Trotzdem nimmt man solche Überlegungen ernst. Auch in der Bundesrepublik arbeitet die Gesellschaft für Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie seit einiger Zeit an einer Sicherheitsstudie für Störfallabläufe, die nach einem Ausfall der Sicherheitssysteme zu einem Kernschmelzen und zu einem Versagen des Sicherheitsbehälters, also der stählernen Hülle des Reaktorgebäudes, führen könnten. Die ersten im Herbst 1977 vorgetragenen Ergebnisse waren noch erheblich günstiger als bei der vergleichbaren Rasmussen-Studie in den USA: Erst nach 4 Tagen könnte es zu einem Durchschmelzen des Betonfundaments kommen, und erst nach 30 Stunden könnte der Sicherheitsbehälter undicht werden. Es ist dann nur noch mit einer vergleichsweise geringen Freisetzung von radioaktiven Schwebeteilchen (Aerosolen) zu rechnen, und es erscheint möglich, das Kernschmelzen durch zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen zu verhindern. Die ohnehin höchst geringe Gefahr wird dadurch noch weiter verkleinert.

Wieviel Energie enthält Uran?





Uran ist ein sehr kompakter Energieträger. Der Energie-Inhalt vom 1 kg Uran – das ist ein Würfel von knapp 4 Zentimeter Kantenlänge – entspricht dem Energie-Inhalt eines ganzen Erdöl-Tankwagens bei Kernkraftwerken der heutigen Generation (oben) bzw. dem eines ganzen Eisenbahnzugs mit hundert Tankwagen (unten) bei den künftigen Brüter-Kernkraftwerken.

Für Krisen-Situationen läßt sich Kernbrennstoff gut auf Vorrat halten, doch sind andererseits nicht Kernkraftwerke in Krisen besonders gefährdet?

Die Bundesrepublik ist bei ihrer Energieversorgung weitgehend auf Importe angewiesen. Deshalb muß auch die Vorratshaltung für Krisen-Situationen bedacht werden. Dazu sind für Erdöl umfangreiche Tankanlagen notwendig. Auf diese Weise kann jedoch nur ein Vorrat für höchstens einige Monate angelegt werden. Uran ist ein Energieträger von unvergleichlich größerer Energiekonzentration. Der Raumbedarf ist dementsprechend geringer. Eine Tonne Uran, nach leichter Anreicherung des spaltbaren Anteils in einem Leichtwasser-Reaktor eingesetzt, hat den gleichen Energie-Inhalt wie 20000 Tonnen Erdöl oder 30000 Tonnen Kohle. Dabei wird 1 Prozent des Urans umgesetzt. Bei der vollständigen Nutzung des Urans in einem Brüter-Kernkraftwerk ist der Brennstoffbedarf sechzigmal kleiner.

Andererseits liegt die Frage nahe, wieweit Kernkraftwerke in Krisensituationen besonders gefährdet sind und dann eine zusätzliche Gefährdungsmöglichkeit darstellen. Immerhin haben sich in einer Kernbrennstoffladung nach einigen Monaten Betrieb einige hundert Kilogramm Spaltprodukte angesammelt. Doch schon aus Gründen des Strahlenschutzes ist der Kernbrennstoff von so viel Beton und Stahl umgeben, daß Treffer mit herkömmlichen Bomben und Granaten wirkungslos bleiben. Vielleicht würde ein zentraler Treffer einer Atombombe ausreichen, die angesammelten Spaltprodukte zu zerstäuben. Doch

warum sollte das jemand versuchen, da er mit seinen Atomwaffen ohnehin jede gewünschte radioaktive Verseuchung erreichen kann?

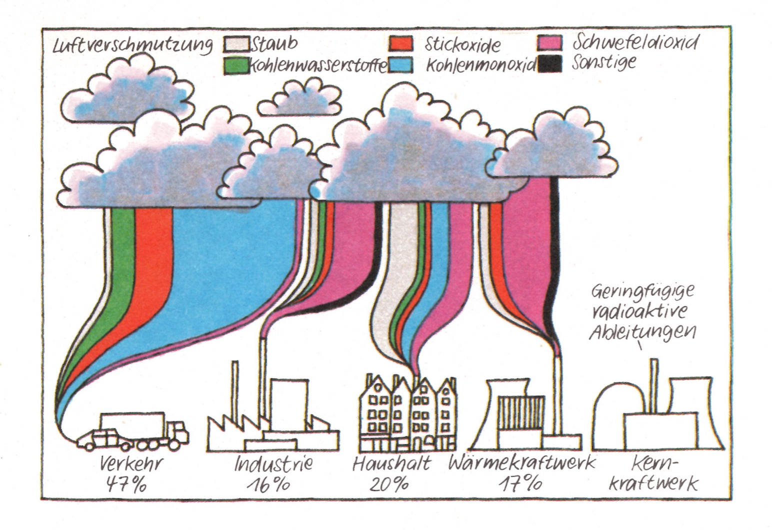
Naheliegender ist die Frage, wieweit Kernkraftwerke durch Sabotage-Akte gefährdet sind. Für einen Irren – und das sind Terroristen vielfach – mag ein besonderer Reiz darin bestehen, ein so wertvolles und psychologisch besonders wirkungsvolles Objekt in seine Gewalt zu bekommen. Doch schon aus Gründen des Strahlenschutzes unterliegen die Besucher eines Kernkraftwerkes einer lückenlosen Personenkontrolle, und es lag nahe, diese Kontrollen in den letzten Jahren zu verbessern und zu verschärfen.

Ferner sind die sicherungstechnisch wichtigen Einrichtungen während des Betriebs nicht zugängig. Außerdem kann wohl durch Gewaltanwendung der Reaktorbetrieb nachhaltig gestört, aber kein ernster Reaktorunfall mit schwerwiegenden Folgen für die Umgebung hervorgerufen werden.

Daß hier eine gewisse Gefahr besteht, kann niemand leugnen. Doch auch der weltweite Luftverkehr ist nicht eingestellt worden, obgleich er nachweislich für Terrorakte höchst empfindlich ist.

Die Kernenergie ist besonders umweltfreundlich, doch dafür haben wir das Problem mit der neuerzeugten Radioaktivität, mit der Entsorgung.

Kernkraftwerke erzeugen keinen Rauch und keine Abgase, keine Stickoxyde und kein Schwefeldioxyd. Das ist nur bei mit Öl und Kohle geheizten Kraftwerken üblich und auch bei einer Erdgas-Anlage nicht ganz zu



Ein ganz entscheidender Vorteil der Kernkraftwerke besteht darin, daß sie nicht zur chemischen Verunreinigung der Atmosphäre beitragen. Die statt dessen über den Abluftkamin abgegebenen Radioaktivitätsmengen sind minimal.

vermeiden. Kernkraftwerke sind darum besonders geeignet, in industriellen Ballungsräumen die Luft zu entlasten. Die Menge der über den Abluftkamin abgebenen radioaktiven Gase und Dämpfe ist minimal. Selbst bei ungünstigen Wetterlagen entsteht weder für die in der unmittelbaren Nachbarschaft des Kernkraftwerks wohnenden Menschen noch für die Gesamtbevölkerung eine nennenswerte Belastung. Versuche, eine erhöhte Säuglingssterblichkeit oder eine vermehrte Krebshäufigkeit als Folge dieser zusätzlichen Radioaktivität der Atmosphäre nachzuweisen oder aus statistischen Daten zu konstruieren, haben sich immer als haltlos erwiesen. Sofern es sie wirklich geben sollte, kann eine zusätzliche Strahlenexposition von 1 Millirem (mrem) pro Jahr – das ist weit mehr als alle Kernkraftwerke in absehbarer Zeit erzeugen – in der Bundesrepublik höchstens zu drei bis vier zusätzlichen Krebserkrankungen pro Jahr führen. 200 000 Personen erkranken hier aber ohnehin jährlich an Krebs.

Andererseits läßt sich nicht leugnen, daß in einem Kernreaktor als Abfall der energieliefernden Kernspaltungsprozesse in erheblicher Menge langlebige radioaktive Stoffe entstehen. Die endgültige Beseitigung dieser Spaltprodukte gilt heute jedoch als gesichert. Sie werden gebunden in Glas eingeschmolzen und dann in einigen hundert Metern Tiefe in Salzstöcken gelagert, so daß sie bis zum endgültigen Abklingen der Aktivität aus dem natürlichen Stoffkreislauf der Erde ausgeschlossen bleiben.

Daß die Technik der endgültigen Spaltprodukt-Beseitigung erst heute entwickelt wird, bedeutet nicht,

daß es sich dabei um ein bisher unlösbares Problem handeln würde. Da das natürliche Abklingen der Aktivität die Bearbeitung der Spaltprodukte von Jahr zu Jahr erleichtert – und davon bisher erst kleine Mengen angefallen sind –, bestand bisher kein Anlaß zu besonderer Eile bei der Bearbeitung dieses Problems.

Das Problem der Kühlung ist bei Kernkraftwerken etwas größer, doch es handelt sich hier um ein generelles Problem der Energieerzeugung.

Stromerzeugung ist in jeder Art von Kraftwerk nur möglich, wenn ein erheblicher Teil der eingesetzten Wärme als Abfallwärme durch den Kondensator der Turbine abgeführt wird. Die Belastung der Umwelt mit Abfallwärme ist daher ein generelles Problem aller Kraftwerke. Es stellt sich jedoch bei den heutigen Kernkraftwerken in besonderer Weise. Da sie in bisher ungekannten Leistungsgrößen gebaut werden, fällt auch je Anlage mehr Abfallwärme an.

Auch haben die umweltfreundlichen Kernkraftwerke keine Möglichkeit, einen Teil der Abfallwärme mit den Verbrennungsgasen durch den Schornstein abzugeben. Hinzu kommt, daß bei den Kernkraftwerken der heutigen Generation die Ausnutzung der durch Kernspaltung erzeugten Wärme aus grundsätzlichen physikalischen Gründen etwas schlechter ist als bei modernen Kraftwerken, die mit Kohle, Erdgas und Erdöl geheizt werden. Aus diesen Gründen benötigt ein Kernkraftwerk heute etwa 35 Prozent mehr Kühlwasser als ein entsprechend großes modernes Kohle- oder Öl-Kraftwerk.

Bei den Kernkraftwerken der nächsten Generation wird sich das später entscheidend verbessern. Sowohl bei den Hochtemperatur- wie auch den Brut-Reaktoren ist ein höheres Temperaturniveau – und damit ein höherer Wirkungsgrad – möglich. Aber auch bei den mit Leichtwasser-Reaktoren arbeitenden Kernkraftwerken der heutigen Generation ist in Zukunft eine Verringerung der örtlichen Wärmebelastung zu erwarten, wenn man sie zur Fernwärmeversorgung mit heranzieht. Die Abfallwärme wird dann über Heißdampf- oder Heißwasserleitungen in die Städte geführt.

Durch die Kontrollen im Rahmen des Atomsperrvertrages läßt sich der Verbleib des Plutoniums überwachen, doch ist das ein absoluter Schutz gegenüber jeder Art illegaler Atomwaffenherstellung?

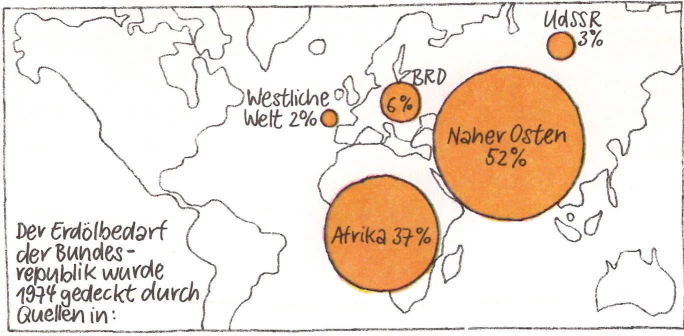
Damit ist eins der wenigen wirklichen Probleme der zunehmenden Verbreitung von Kernkraftwerken in der Welt angesprochen. Wohl gehören zum Atomsperrvertrag vielfältige Kontrollen des Brennstoff-Kreislaufs. Sie sollen es unmöglich machen, bei der Wiederaufarbeitung der verbrauchten Brennelemente illegal Plutonium abzuzweigen. Doch der Umfang, in dem beim Betrieb eines Kernreaktors im Kernbrennstoff Plutonium gebildet wird, läßt sich nicht bis auf die letzte Stelle hinter dem Komma genau erfassen. Diese Ungenauigkeit in der Brennstoffbilanz könnte dazu mißbraucht werden, ständig kleine Plutoniummengen abzuzweigen, um so leichter, je größer der Brennelement-Umsatz und damit die Plutonium-Produktion sind.

Andererseits: Plutonium ist sehr giftig, und seine Strahlung verlangt besondere Schutzmaßnahmen. Deshalb wird es Einzelpersonen oder illegalen Gruppen nicht so leicht möglich sein, sich die für den Bau einer Bombe benötigte Plutoniummenge zusammenzuklauben. Auch erfordert die Herstellung eines solchen Sprengkörpers weitreichende Erfahrungen und hochqualifizierte Kenntnisse. Allein in Westeuropa lagern an die 7000 Atomsprengköpfe. Wer sich in den Besitz eines wirklich funktionierenden atomaren Sprengsatzes setzen möchte, täte besser daran, ihn hier zu stehlen.

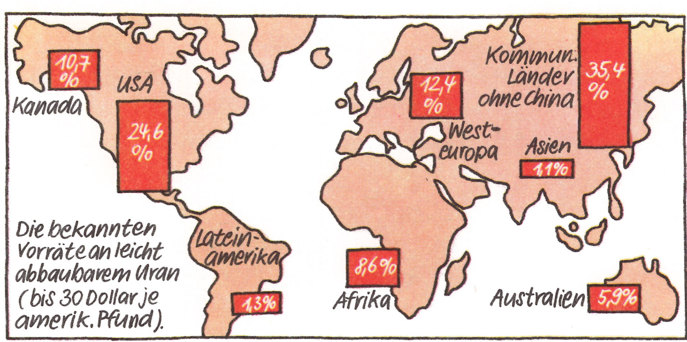
Die Kernenergie befreit uns aus der einseitigen Abhängigkeit von den ölfördernden Ländern, doch geraten wir nicht in eine neue Abhängigkeit?

In der Tat hat die Bundesrepublik nur sehr geringe Uranerz-Vorkommen. Auch die Vorräte innerhalb Europas reichen keineswegs als Basis für eine langfristige Sicherung der europäischen Energieversorgung aus, und es hat ja auch bereits politisch motivierte gegen Europa gerichtete Uran-Lieferstopps westlicher Staaten gegeben. Trotzdem: Die Uranvorkommen sind auf der Erde breiter gestreut und günstiger verteilt als die Erdöllagerstätten. Auch werden, wie jüngst vor der türkischen Küste, immer noch neue große Uranerzlagerstätten gefunden.

Ein ausgesprochenes Monopol besteht heute noch für die Anreicherung des Urans, die künstliche Erhöhung des spaltbaren Anteils. Sie wird zur Zeit im großen Maßstab nur von den USA und in gewissem



Woher unser Erdöl kommt



Wo die Uranerz-Vorräte liegen

Während wir bei der Erdöl-Versorgung weitgehend auf eine verhältnismäßig kleine Region in Nordafrika und im Nahen Osten angewiesen sind (oben), sind die abbauwürdigen Uranvorräte breit über die Erde verstreut (unten). Außerdem spielen beim Uran wegen der hohen Energiekonzentration die Transportkosten nur eine untergeordnete Rolle. Aus dem gleichen Grund kann man Uran leicht auf Vorrat halten.

Umfang von der UdSSR auf dem Markt angeboten. Doch Europa ist bereits dabei, sich eigene Anreicherungsfabriken zu bauen. Auch die Länder mit eigenem Uranerz-Vorkommen streben eigene Anreicherungsanlagen an. Hier wird sich innerhalb der nächsten zehn Jahre ein ausgewogener Markt aufbauen. Bis es dazu kommt, sind als Folge der zahlreichen neuen Kernkraftwerksbauten gelegentliche Engpässe nicht auszuschließen.

Im übrigen sind wir von einer völligen Umstellung auf Kernenergie noch sehr weit entfernt. Zur Heizung unserer Häuser und zum Antrieb unserer Kraftfahrzeuge ist das Erdöl ohnehin nicht so bald zu ersetzen. von seiner Bedeutung als Produktions-Rohstoff – etwa für Kunststoffe oder für Medikamente – ganz zu schweigen.



Das Kernkraftwerk Biblis am Rhein, auf halbem Weg zwischen Heidelberg und Mainz gelegen, ist zum Symbol für die Leistungsfähigkeit der Kerntechnik geworden. Jeder der Reaktoren – zwei sind bereits in Betrieb, für einen dritten läuft das Genehmigungsverfahren – könnte die Städte Frankfurt und München zusammen, einschließlich ihrer Industriebetriebe, mit Strom versorgen.

Wie es in einem Kernkraftwerk aussieht

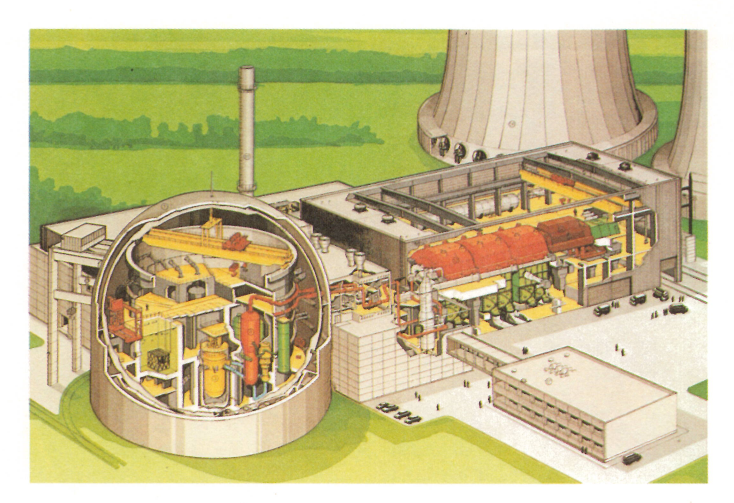
Im Grunde genommen ein einfaches Gebilde

Wer eine Rheinfahrt unternimmt, erblickt etwa zehn Kilometer nördlich von Worms eine ungewöhnliche Gruppe von Bauwerken. Auf dem Ostufer des Flusses fallen zwei 60 Meter hohe Kuppelbauten und vier 80 Meter hohe Kühltürme besonders ins Auge: das Kernkraftwerk Biblis.

Von den beiden Kraftwerksblöcken arbeitet der eine seit dem Frühjahr 1974. Mit seiner vollen elektrischen Leistung von 1200 Megawatt (1,2 Millionen Kilowatt) war es seinerzeit das größte Kernkraftwerk der Welt. Der zweite Kraftwerksblock hat äußerlich die gleichen Abmessungen, leistet jedoch sogar 1300 Megawatt. Er ist seit Frühjahr 1977 in Betrieb. Im unmittelbaren Anschluß an diese beiden Kraftwerksblöcke sind noch zwei weitere von gleicher Größe geplant. Dann würde hier eine Kernkraftwerksleistung von nicht weniger als 5000 Megawatt erbracht. Die elektrische Leistung aller Kraftwerke der öffentlichen Stromversorgung in der Bundesrepublik liegt gegenwärtig bei 65 000 Megawatt.

Gefangen in der stählernen Sicherheitshülle

Ein Kernkraftwerk dieses Typs unterscheidet sich äußerlich von einem herkömmlichen Kraftwerk durch das kuppelförmige Reaktorgebäude. Seine Form wird bestimmt durch eine Kugel aus Stahlblech. Sie umschließt wie eine stählerne Eierschale den Reaktor, die



Schnitt durch einen Block des Kernkraftwerks Biblis. Das doppelwandige Reaktorgebäude (links im Bild) umschließt den Reaktor. Über dem Reaktor sind die Lademaschine und links das Wasserbecken zur Lagerung der verbrauchten Brennelemente zu erkennen. Im rechten Gebäude sieht man Turbine und Generator. Das erforderliche Kühlwasser zur Verflüssigung des Turbinendampfes wird dem Rhein entnommen und über die beiden Kühltürme (im Hintergrund erkennbar) geleitet, bevor es in den Fluß zurückgegeben wird.

Technischer Steckbrief des Kernkraftwerks Biblis, Block A

Kenndaten	
Elektrische Nennleistung	1.204 MW
Wärmeleistung	3.540 MW
Kraftwerkswirkungsgrad (netto)	33,2%
Reaktorkühlmittel	H_2O
Kühlmitteldurchsatz	72.000 t/h
Kühlmitteltemp. Reaktoraustritt	316 °C
Frischdampfmenge	6.538 t/h
Frischdampfdruck	52 ata
Frischdampftemperatur	265 °C
Mittlere Brennstoffleist.	35 kW/kg U

Reaktorkern	
Anzahl der Brennelemente	193
Anzahl der Brennstäbe je Element	236
Brennstablänge (aktiv)	3,9 m
Brennstab-Außendurchmesser	1 cm
Gesamtgew. eines Elements	750 kg
Brennstoff	Urandioxid
Anreicherung	2,58%
Urangewicht	99,2 t
Steuerstäbe (Anzahl)	61

Reaktordruckgefäß	
Innendurchmesser	5 m
Wanddicke	24 cm
Gesamthöhe	12,9 m
Gesamtgewicht	530 t

Dampferzeuger	
Anzahl	4
Höhe eines Dampferzeugers	18,7 m
Gewicht je Dampferzeuger	280 t

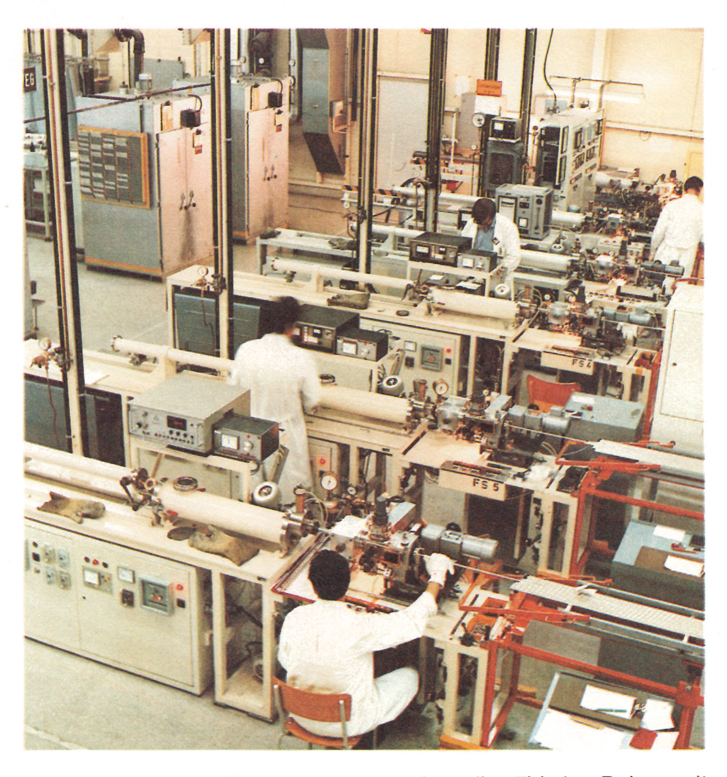
Sicherheitshülle	
Durchmesser	56 m
Auslegungsdruck	4,8 ata

Turbosatz	
Drehzahl	1.500 U/Min.
Kühlwassermenge	200.000 m^3/Std.
Außendurchmesser des letzten Schaufelrades	5,6 m
Endschaufellänge	1,4 m
Gewicht des Ständers	440 t
Gewicht des Läufers	200 t
Länge des Turbosatzes	62 m

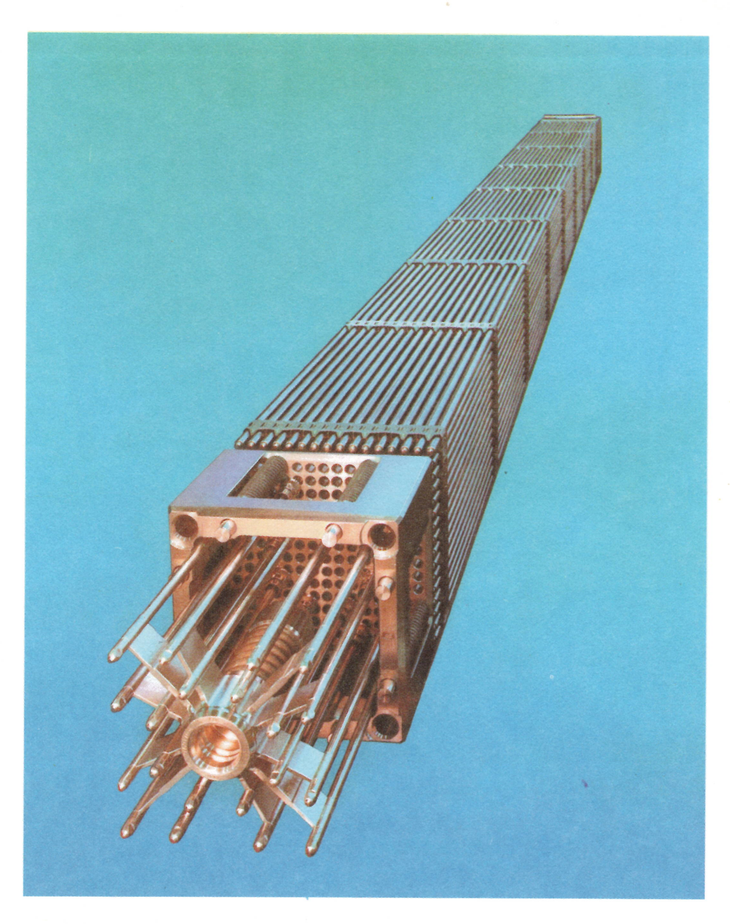
Dampferzeuger und alles, was dazugehört. Der Durchmesser der Stahlkugel in Biblis beträgt 56 Meter. Die Materialstärke ist so bemessen, daß die Kugel einen Überdruck von etwa 5 Atmosphären aushält. Selbst bei der schwersten theoretisch vorstellbaren Betriebsstörung – dem freien Austritt des unter hohem Druck stehenden, heißen Reaktorwassers – kann kein radioaktiver Dampf in die freie Atmosphäre austreten. Er bleibt gefangen und hermetisch von der Außenwelt abgeschlossen in der stählernen Sicherheitshülle.

Die kugelförmige Stahlhülle ist ihrerseits wiederum von einer Betonkuppel umgeben. Diese Betonkuppel ist ein Schutz gegen Einwirkungen von außen, zum Beispiel für den höchst unwahrscheinlichen Fall, daß auf dem Rhein, unmittelbar vor dem Kraftwerksgelände, ein Schiff mit Flüssiggas explodieren sollte. Zwischen der Betonhülle und der stählernen Sicherheitshülle ist ein Freiraum. Die Luft in diesem Raum wird ständig abgepumpt. Damit herrscht hier ständiger Unterdruck. Sollte die stählerne Hülle wirklich einmal nicht ganz dicht sein und radioaktive Stoffe durchlassen, werden sie abgepumpt und in den anschließenden Reinigungsanlagen abgefangen.

Das Innere des Reaktorgebäudes ist während des Betriebs nur zum Teil zugänglich. Der eigentliche Reaktor, die vier Dampferzeuger und die dazugehörigen Hilfseinrichtungen sind zur Abschirmung ringsum von Betonwänden umgeben und bleiben vom Betreten ausgeschlossen. Wegen der Dichtigkeit der Sicherheitshülle gegenüber der Außenwelt kann das Reaktorgebäude nur durch eine Personen-Schleuse betreten werden. Das ist ein enger Raum, der vorn



In automatischen Einrichtungen werden die Zirkaloy-Rohre mit Brennstoff und Helium gefüllt und gasdicht verschweißt. Mehrere hundert dieser Brennstäbe bilden ein Brennelement, das wiederum im Reaktor eingesetzt wird.



Der Kernbrennstoff ist in rechteckige Stabbündel verpackt. Je 236 Brennstäbe bilden ein Brennelement von knapp 5 Meter Höhe und einer Grundfläche von 23 x 23 cm. Auf dieses Brennelement ist zusätzlich ein Steuerstab gesetzt, der aus 20 Cadmium-Stäben besteht. Wenn die Steuerstab-»Finger« in das Brennelement eingefahren werden, hören die Kernspaltungs-Kettenreaktionen und die daraus resultierende Energie-Erzeugung auf.

und hinten je mit einer Stahltür verschlossen ist. Beim Betreten wird zuerst die äußere Tür geöffnet, die innere bleibt automatisch verriegelt. Erst wenn die äußere wieder geschlossen ist, kann die innere geöffnet werden. Da auch im Innern des Reaktorgebäudes wiederum ein leichter Unterdruck gegenüber der Außenluft besteht, kann auch durch die Schleuse nichts nach außen gelangen.

Nach dem gleichen Prinzip funktioniert eine zweite, größere Schleuse. Durch sie wird Material in das Innere des Reaktorgebäudes gebracht. Sie heißt daher Materialschleuse. Verlassen Menschen und Material das Reaktorgebäude, arbeiten die Schleusen in umgekehrter Reihenfolge.

Strahlenschutzkontrolle bis auf die Haut

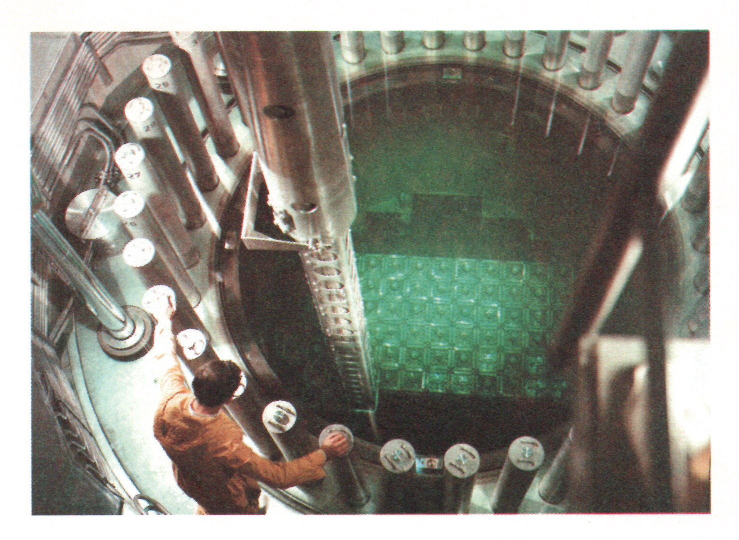
Menschen und Material unterliegen einer strengen Kontrolle, damit sie beim Verlassen der Schleuse keine radioaktiven Stoffe mit nach außen nehmen. Die Kontrolle des Materials nimmt ein Strahlenschutz-Beauftragter vor. Alle Gegenstände tastet er mit einem hochempfindlichen Strahlungsdetektor ab. Personen werden automatisch durch einen Strahlungsmonitor überwacht. Ständig im Kernkraftwerk Beschäftigte wechseln vor dem Betreten des Reaktorgebäudes ihre Kleidung einschließlich der Unterwäsche, Besucher tragen Schutzüberzüge für ihre Schuhe und einen Schutzmantel oder -anzug. Alle werden mit kleinen Strahlungsdetektoren ausgestattet, um eine eventuelle Strahlenbelastung sofort zu erfassen.

In der Reaktorhalle sieht man nicht viel. In der Mitte

gibt es einen mit Betonsteinen abgedeckten Raum. Darunter befindet sich der Reaktor, das Kernstück des Kraftwerkes. Daneben ist ein etwa 15 Meter tiefes Wasserbecken. Auf dessen Grund stehen gebrauchte und ungebrauchte Brennelemente. Das sind rechteckige Kästen, knapp 5 Meter hoch, mit einer Grundfläche von 23 x 23 Zentimetern. Jedes Brennelement wiederum ist aus 236 runden Stäben zusammengesetzt. Jeder der Stäbe hat einen Durchmesser von einem Zentimeter und besteht außen aus einer Legierung von Aluminium und Zirkonium.

Im Innern sind die Stäbe mit dem Brennstoff gefüllt, mit Uran. Genaugenommen handelt es sich um Urandioxyd. Das ist eine chemische Verbindung des Uran-Metalls mit Sauerstoff. Der Brennstoff wurde vor dem Einfüllen in die Stäbe zu Tabletten gepreßt und in einem Ofen gesintert. In dieser Form ist er mechanisch besonders widerstandsfähig.

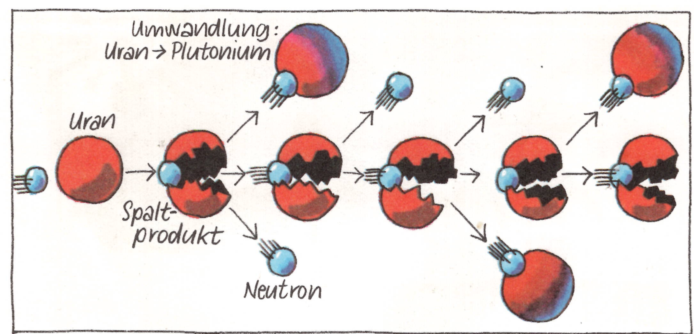
Von alledem ist natürlich nichts zu erkennen, wenn man die Brennelemente im wassergefüllten Lagerbecken stehen sieht. Was man allenfalls bei abgeschalteter Beckenbeleuchtung beobachten kann, ist ein leichtes blaues Leuchten, das die gebrauchten Brennelemente umgibt. Dies ist das einzig sichtbare Zeichen dafür, daß sie bis vor kurzem im Reaktor eingesetzt waren und jetzt infolge der gebildeten Spaltprodukte hochgradig radioaktiv sind. Die beim radioaktiven Zerfall fortgeschleuderten Strahlungsteilchen erzeugen im Wasser eine Stoßwelle, die als blaues Licht sichtbar ist. Das Leuchten bleibt allerdings auf die nähere Umgebung der Brennelemente begrenzt, denn das Wasser ist eine ideale Strahlungsabschirmung. Man



Wie Tauchsieder ohne Stromanschluß erhitzen die Brennelemente das Wasser des Reaktorkreislaufs: Es gibt keine einfachere Reaktorkonstruktion.

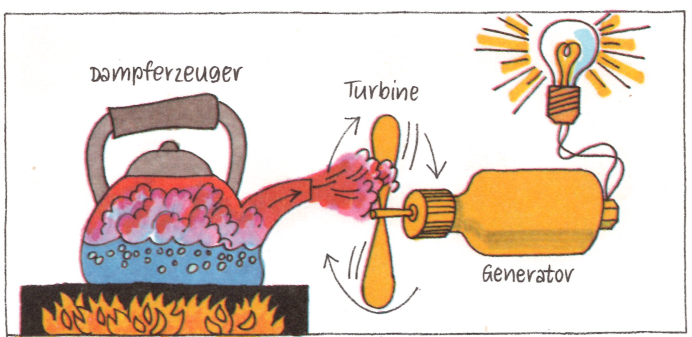
kann sich die radioaktiven Brennelemente unter der 10 Meter dicken Wasserschicht ohne Gefahr ansehen.

Unmittelbar neben dem Brennelement-Lagerbecken steht die Lademaschine. Nach dem Abschalten der Anlage kann sie zum Auswechseln von Brennelementen zwischen dem Becken und dem Reaktor hin- und hergefahren werden. Mit Hilfe eines langen Greifarmes zieht diese Maschine jeweils ein verbrauchtes Brennelement aus dem Reaktorkern heraus, setzt es im Lagerbecken ab und bringt in umgekehrter Reihenfolge vom Becken zum Reaktor frische Elemente. Für diese Prozedur wird auch der Raum über dem Reaktor unter Wasser gesetzt.

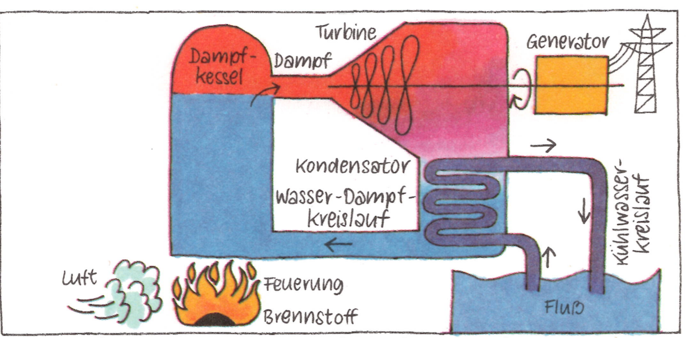


Ablauf einer Kernspaltungs-Kettenreaktion

Grundlage der Kernenergie-Gewinnung ist die Fähigkeit eines elementaren Kernbausteins, eines Neutrons, die Atomkerne einer bestimmten Uran-Art zertrümmern zu können. Es entstehen dabei zwei etwa gleich große Trümmerstücke des Uran-Atomkerns – die Spaltprodukte – sowie einige weitere freie Neutronen. Zumindest einem dieser Neutronen muß es gelingen, einen weiteren Uran-Atomkern zu spalten, damit eine nicht mehr abreißende Kettenreaktion entsteht, die Voraussetzung für die ständige Wärmeerzeugung des Reaktors.



Prinzip der Stromerzeugung mit Dampf



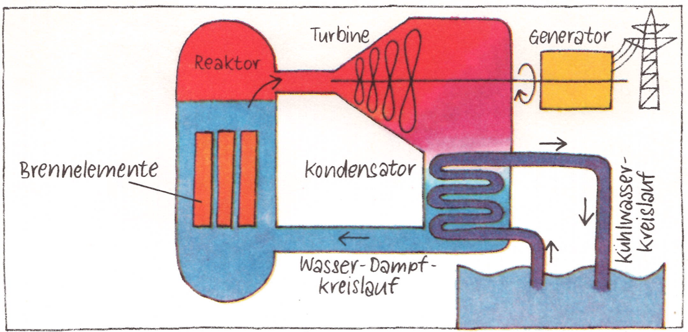
Prinzip der Stromerzeugung im herkömmlichen Dampfkraftwerk

Um in einem Wärmekraftwerk Strom zu erzeugen, wird in einem Kessel Wasser zum Kochen gebracht und der dabei entstehende Dampf zum Antrieb eines Generators benutzt (oben). Die Aufheizung des Wassers erfolgt in einem herkömmlichen Dampfkraftwerk durch die chemische Reaktion des Brennstoffs – Öl, Kohle oder Gas – mit dem Sauerstoff der Luft (unten). Der Dampf muß, wenn er in der Turbine seine Arbeit geleistet hat, in einem Kondensator abgekühlt und in Wasser rückverwandelt werden.

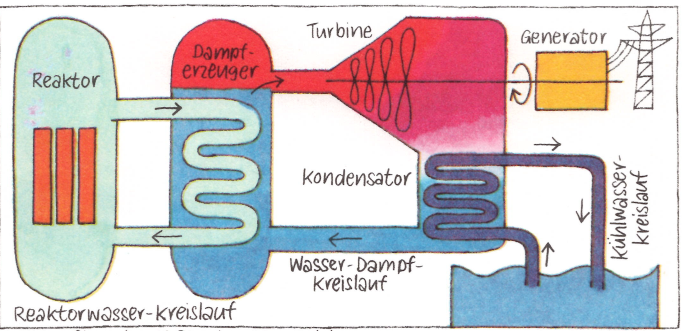
Der Reaktor – man kann ihn allenfalls vor der Inbetriebnahme aus der Nähe betrachten – ist im Grunde genommen ein sehr einfaches Gebilde. Er besteht aus einem dickwandigen Druckbehälter. In seinem Inneren stehen die Brennelemente – in Biblis sind es 193 – dicht nebeneinander. Sie bilden den Reaktorkern, in der Fachsprache auch Core genannt. Hier finden die Kernspaltungs-Kettenreaktionen statt und als Folge davon eine Erwärmung der Brennstäbe. Das Wasser, das ständig durch das Core strömt, führt diese Wärme ab. Sie wird durch Dampferzeugung zur Stromerzeugung genutzt.

Strom wird in einem Kraftwerk dadurch erzeugt, daß eine Turbine einen Stromgenerator dreht. In Wasserkraftwerken wird die Turbine durch einen Wasserstrom oder einen Wasserstrahl in Gang gesetzt. Bei einem Wärmekraftwerk besorgt ein Dampfstrom diese Arbeit. Was der Reaktor eines Kernkraftwerks liefern muß, ist also heißer, unter hohem Druck stehender Dampf.

Man kann dazu die Wärme des Reaktors unmittelbar benutzen und das Wasser bereits im Reaktorkern sieden lassen. Dann haben wir es mit einem sogenannten Siedewasserreaktor zu tun. Man kann das Wasser im Reaktor aber auch einem so hohen Druck aussetzen, daß es hier nicht zum Sieden kommt. Dann braucht man zusätzlich Wärmetauscher, die von dem unter Druck stehenden heißen Reaktorwasser durchströmt werden. Dieses Wasser gibt dann seine Wärme im Wärmetauscher an einen zweiten Wasserkreislauf ab



Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor



Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor

Ein Kernkraftwerk unterscheidet sich von einem herkömmlichen Dampfkraftwerk lediglich dadurch, daß die Aufheizung im Wasser-Dampf-Kreislauf durch die Kernspaltungs-Kettenreaktionen in den Brennelementen erfolgt. Dabei kann man das Wasser bereits im Reaktor sieden lassen (oben), oder aber man schaltet dazu einen Dampferzeuger ein und hält das Wasser im Reaktor unter so hohem Druck, daß es hier nicht zur Dampfbildung kommt (unten).

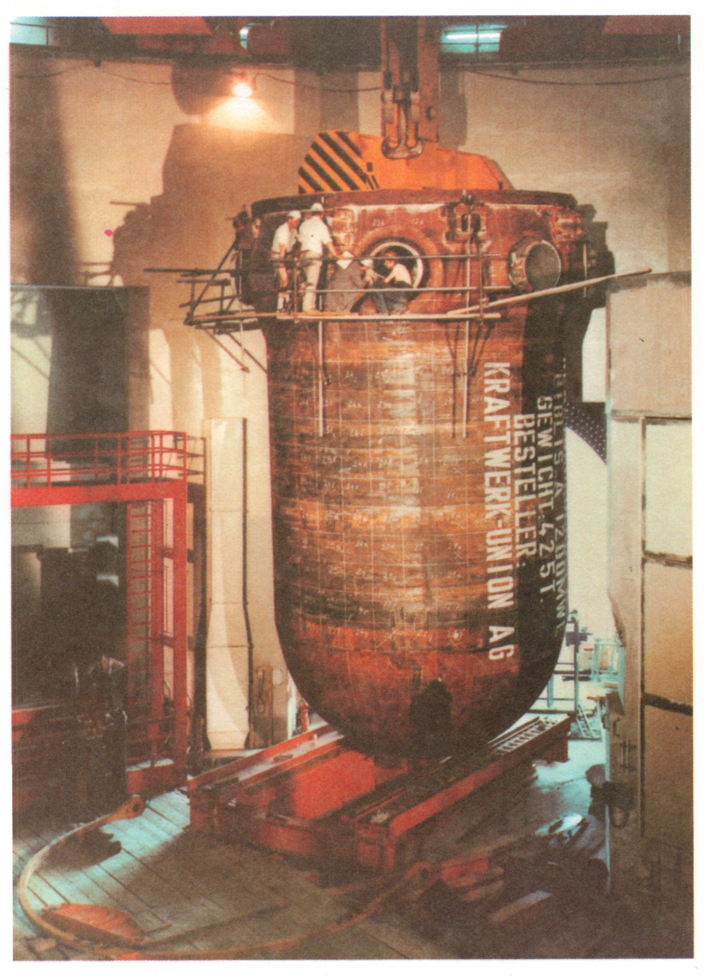
und bringt erst dieses Wasser zum Sieden. Das ist der sogenannte Druckwasserreaktor.

Beide Reaktortypen galten lange Zeit als im großen und ganzen gleichwertig. Sie wurden sowohl in den USA als auch in der Bundesrepublik zunächst etwa in gleicher Zahl gebaut und bestellt. In letzter Zeit wird jedoch der Typ des Druckwasserreaktors bevorzugt. In Biblis sind alle Kraftwerksblöcke Druckwasserreaktoren.

So führen in Biblis vier Wasserrohre von 80 Zentimeter Durchmesser vom Druckbehälter zu je einem fast 19 Meter hohen Dampferzeuger und wieder zurück. Die vier Pumpen, die das unter einem Druck von etwa 160 Atmosphären stehende und fast 320 Grad Celsius heiße Reaktorwasser umwälzen, wiegen je 50 Tonnen und benötigen eine Antriebsleistung von je rund 6 Megawatt, also 6000 Kilowatt.

Noch imponierender ist der stählerne Reaktordruckbehälter, der das Core aufnimmt. Er ist über 13 Meter hoch, hat einen Innendurchmesser von 5 Metern und wiegt alles in allem 530 Tonnen. Einen solchen Koloß zu schmieden, zu verschweißen und zu überprüfen, hat in den letzten Jahren von den Herstellern – aber auch von den Materialprüfanstalten und Technischen Überwachungs-Vereinen – erhebliche Anstrengungen verlangt. Die Fertigung der Stahldruckgefäße war überhaupt lange Zeit der Engpaß beim Bau neuer Kernkraftwerke.

Ein wichtiges Bauelement jedes Reaktors sind weiterhin die Steuerstäbe. Ihre dünnen »Finger« schieben sich zwischen die Stäbe der Brennelemente, wenn man die Kettenreaktionen unterbrechen oder ver-



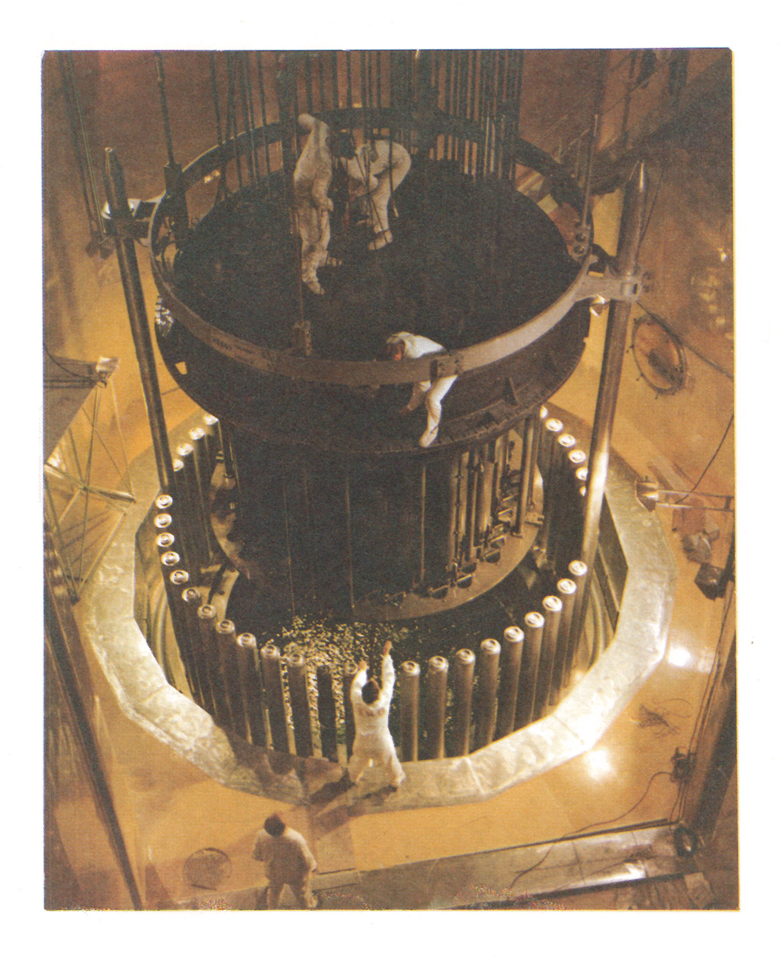
An die 530 Tonnen wiegt (mit Deckel) der stählerne Druckbehälter, der das Reaktor-Core aufnehmen soll. Die kreisrunden Öffnungen im oberen Teil des zylinderförmigen Gefäßes sind die Anschlüsse für die zu den Wärmetauschern führenden Druckwasser-Leitungen.

ringern will. Die Finger der Steuerstäbe enthalten Cadmium, das die freien Neutronen einfängt, die zum Zustandekommen einer ununterbrochenen Folge von Kernspaltungen benötigt werden. Bei den Biblis-Reaktoren gibt es etwa 60 Steuerstäbe mit je 20 Fingern. Sie werden normalerweise von oben her durch Schrittmotoren zwischen die Brennstäbe geschoben oder fallen in Notfällen aufgrund ihres Eigengewichts nach unten. So kann man den Reaktor steuern oder schnell abschalten.

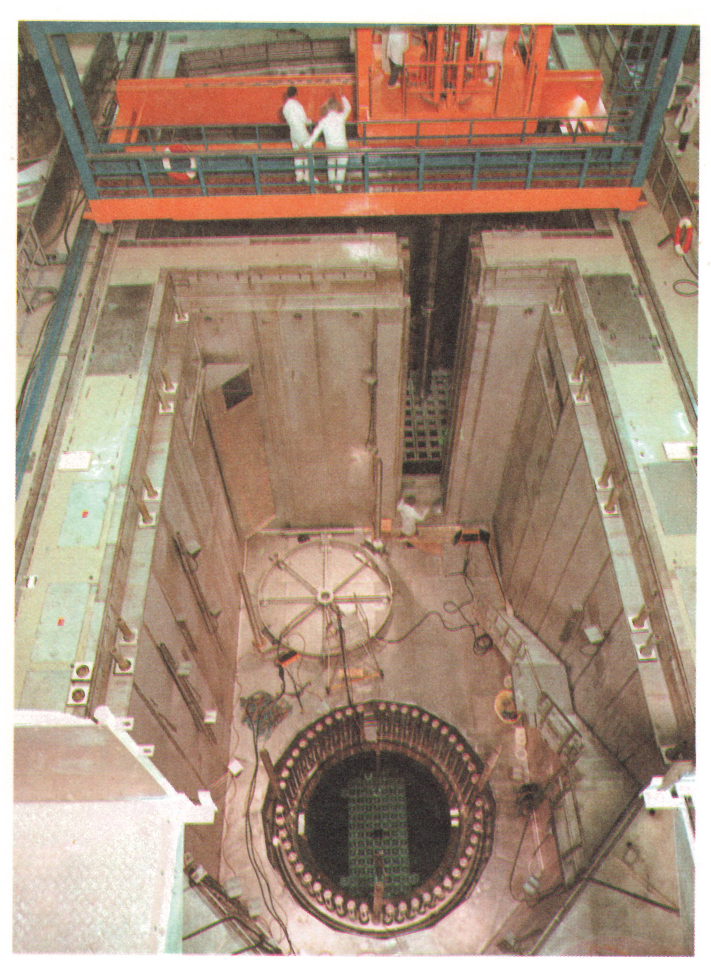
Steuereinrichtungen – doppelt und dreifach vorhanden

Zum Betrieb eines Kernkraftwerks sind umfangreiche Meß- und Steuereinrichtungen notwendig. Aus Sicherheitsgründen sind alle diese Einrichtungen doppelt und dreifach vorhanden und innerhalb eines Kraftwerks an verschiedenen Stellen untergebracht. Als zum Beispiel im Frühjahr 1975 im amerikanischen Kraftwerk Browns Ferry im Staate Alabama im Kabelschacht durch Unachtsamkeit ein Brand ausbrach, fiel nur ein Teil der Reaktorsteuerung aus. Den Betriebsingenieuren war es darum trotzdem möglich, den Reaktor sicher herunterzufahren. Es entstand zwar ein beträchtlicher Materialschaden, doch zu keinem Augenblick bestand ernsthaft die Gefahr, daß sich der Reaktor hätte selbständig machen können.

Im Reaktorkern, in den Druckwasserleitungen und den Dampfleitungen, an der Turbine und am Generator werden fortlaufend Messungen vorgenommen. Es wäre allerdings sehr schwierig, sich allein durch die Beobachtung von Instrumenten ein Bild vom Be-



Später, wenn der Reaktor-Druckbehälter eingebaut ist, wird das Kerngerüst, das die Brennelemente oben und unten festhält, darin eingesetzt. Die ringsum wie Zaunpfähle in die Höhe ragenden, mannshohen Zylinder schützen die 52 dicken Schrauben, mit denen der Deckel des Reaktor-Druckbehälters verschlossen wird. Diese Schrauben allein wiegen mit den Muttern 35 Tonnen.



Während das erste Reaktor-Core aufgebaut wird, kann man noch das Brennelement-Absetzbecken (im Hintergrund des Bildes) sowie das Überflutungs-Becken über dem Reaktor (im Bild vorn) betreten. Beim späteren Wechseln verbrauchter Brennelemente steht das Wasser bis an den oberen Rand der Becken.

triebszustand eines Kernkraftwerks zu verschaffen. So werden Kernkraftwerken heute Computer – sogenannte Prozeßrechner – beigegeben, die ständig das Betriebsprotokoll führen, Störungen und deren Ablauf darstellen und die vielen Berechnungen durchführen, die zum Beispiel erforderlich sind, um über den Verbrauch des Urans in jedem einzelnen Brennelement informiert zu sein. Auch diese Computeranlagen sind doppelt vorhanden. Im Normalbetrieb nimmt zwar jede von ihnen spezielle Aufgaben wahr, doch bei Störungen kann auch je eine Anlage allein die wichtigsten Funktionen ausführen. Die Steuerwarte, von der aus das Kernkraftwerk bedient wird, befindet sich außerhalb des Reaktorgebäudes.

Die Turbinenanlage ist in einer eigenen Halle untergebracht. Auch hier handelt es sich um imponierende Abmessungen. Der Turbogenerator in Biblis etwa hat eine Länge von 62 Metern, und die größten Turbinenschaufeln sind 1,40 Meter lang.

Kühltürme, wenn es warm wird

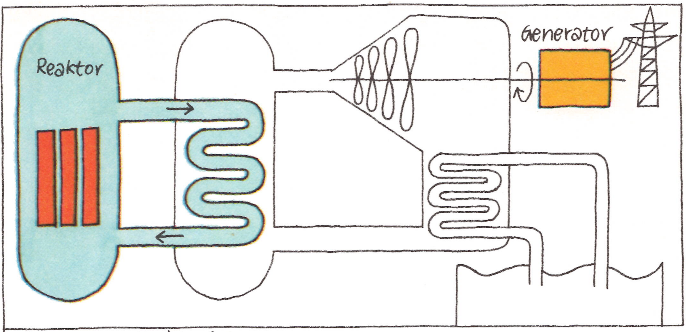
Um den Turbinendampf zu kondensieren, braucht man Kühlwasser. Es wird beim Kernkraftwerk Biblis dem Rhein entnommen und wieder in ihn zurückgeleitet. Um die Aufwärmung des Flusses innerhalb der Grenzen des staatlichen Wärmebelastungsplans zu halten, kühlt man das Wasser von Fall zu Fall in den Kühltürmen. So wird das Wasser mit etwa der gleichen Temperatur an den Fluß zurückgegeben, mit der es entnommen wurde. Dabei leistet das Kraftwerk ganz nebenbei einen wesentlichen Beitrag zur Rein-

haltung des Rheins. Denn das dem Fluß entnommene Rheinwasser wird nicht nur mechanisch gereinigt, sondern im Kühlturm und auch bei der Rückführung in den Rhein erheblich mit Sauerstoff angereichert.

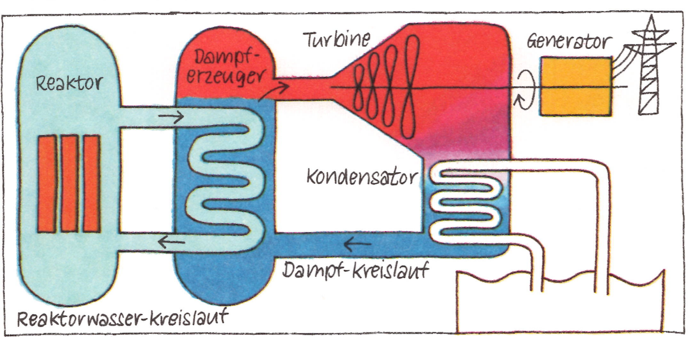
Es gibt also insgesamt drei Wasserkreisläufe. Alle drei sind streng voneinander getrennt. Das Wasser des Kühlkreislaufs durchströmt nur den Kondensator der Turbine. Das Wasser des Dampfkreislaufs zirkuliert – teils als Dampf – zwischen Turbinenhalle und Reaktorgebäude. Es nimmt von dort jedoch nur die Wärme mit. Schließlich gibt es den Druckwasserkreislauf, der mitunter etwas irreführend auch als Reaktor-Kühlkreislauf bezeichnet wird. Nur in diesem Kreislauf kann das Wasser in geringem Umfang radioaktiv werden, etwa wenn ein Brennstab nicht ganz dicht ist oder wenn geringfügige Verunreinigungen des Wassers im Neutronenstrom der Kernspaltungs-Kettenreaktionen aktiviert werden.

Das Wasser im Reaktordruckgefäß erfüllt neben seiner wärmetechnischen auch noch eine physikalische Aufgabe. Die Neutronen, die bei der Spaltung der Uran-Atomkerne freigesetzt werden und weitere Kernspaltungen auslösen sollen, haben von Natur aus eine dazu viel zu große Geschwindigkeit. Sie müssen abgebremst werden, um in andere Uran-

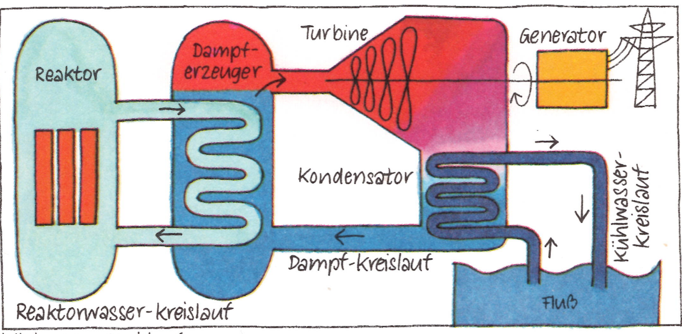
Die Wasserkreisläufe eines Kernkraftwerks sind streng voneinander getrennt, so daß die Radioaktivität des Reaktors nicht unkontrolliert in den zur Kühlung benutzten Fluß gelangen kann. Beim Druckwasser-Reaktor schließt sich an den Reaktorwasser-Kreislauf (oben) der Dampf-Kreislauf (Mitte) an. Das Flußwasser des Kühlkreislaufs (unten) durchströmt lediglich die Kühlschlangen des Kondensators.



Reaktorwasser-Kreislauf



Dampf-kreislauf



kühlwasser-Kreislauf

Atomkerne eindringen zu können und auch bei diesen die Spaltung einzuleiten. Das besorgen vorzüglich die Wasserstoffatome des Wassers, das zwischen den Brennelementstäben entlangströmt.

So fing die Entwicklung an

Der erste Block des Kernkraftwerks Biblis ist eins von 14 derzeit arbeitenden Kernkraftwerken in der Bundesrepublik. Die elektrische Leistung der einzelnen Kernkraftwerke steigerte sich im Laufe der Jahre von einigen Dutzend Megawatt Anfang der sechziger Jahre auf 250 bis 350 Megawatt in den Kernkraftwerken Gundremmingen, Lingen und Obrigheim, die von 1967 bis 1969 in Betrieb gingen, um dann mit etwa 670 Megawatt bei den Kernkraftwerken Stade und Würgassen etwa die Hälfte der Blockleistung in Biblis zu erreichen. Stade ging 1972 in Betrieb.

Im Mai 1969 bestellte die Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG den ersten Block des Kernkraftwerks Biblis mit einer elektrischen Leistung von 1200 Megawatt. Der Durchbruch der Kernkraftwerkstechnik war damit endgültig bewiesen.

Jetzt zeichnet sich eine Konsolidierung ab. Angesichts der enormen Kostensteigerung, von der auch der Bau von Kernkraftwerken nicht verschont geblieben ist, erscheint es sinnvoller, eine Verbilligung durch Standardisierung zu erreichen. Nach nahezu zwanzig Jahren Entwicklung ist die Kernkraftwerkstechnik bei uns so weit ausgereift, daß von Anlage zu Anlage kaum noch Verbesserungen möglich sind. Warum soll man da nicht mehrere Kraftwerke gleicher



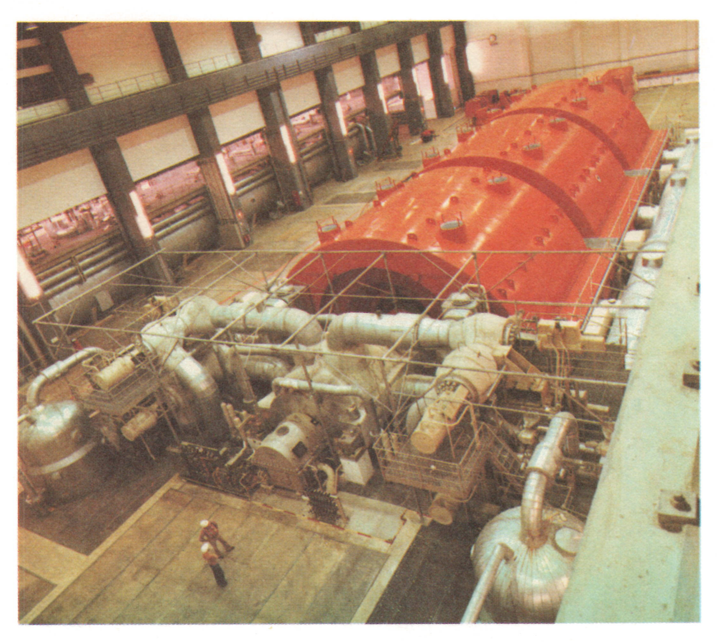
Luftaufnahme des Kernkraftwerks Biblis am Rhein, Block A (im Hintergrund) und Block B. Der Typ »Biblis« ist unterdessen zu einer Art Standard-Kernkraftwerk der »Kraftwerk Union« geworden.

Größe in Serie bauen? Dadurch entfallen die Entwurfsarbeiten weitgehend, und die Fertigung wird wegen der größeren Stückzahl billiger. Auch das behördliche Genehmigungsverfahren sollte sich dadurch vereinfachen und beschleunigen lassen. Das Kernkraftwerk vom Typ Biblis ist unterdessen zu einer Art Standard-Kernkraftwerk der „Kraftwerk Union" geworden.

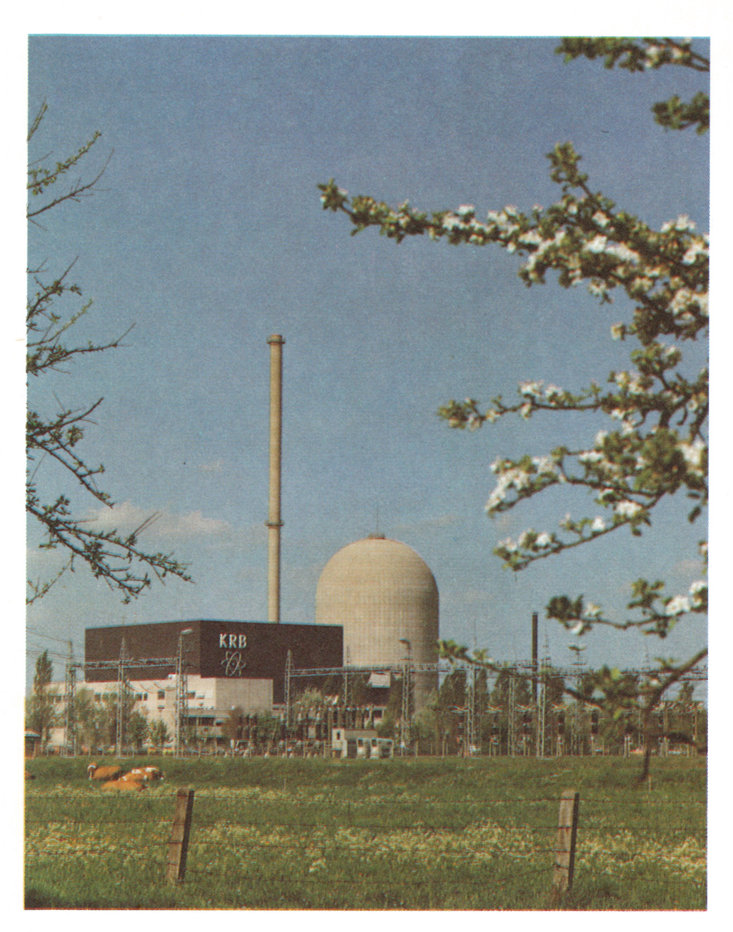
Es gibt keine einfachere Reaktorkonstruktion

Die Entwicklung von Kernreaktoren für die Stromerzeugung setzte in den fünfziger Jahren ein. Damals stand man vor einer verwirrenden Vielfalt von Möglichkeiten. Man versuchte zuerst, ohne Anreicherung des spaltbaren Anteils im Uran auszukommen, brauchte dazu aber im Reaktor statt des normalen Wassers sogenanntes Schweres Wasser. Man versuchte es auch mit Kohlensäuregas als Wärmetransportmittel. Durchgesetzt hat sich heute der Leichtwasserreaktor mit seinen beiden Varianten, der Druckwasser- und der Siedewasser-Konstruktion.

Rückblickend erscheint diese Entwicklung als ganz natürlich. Schließlich gibt es – zumindest vom Prinzip her – keine einfachere Reaktorkonstruktion: In Rohre verpacktes Uran steht im Wasser und erwärmt sich. Das ist vergleichbar mit der Funktion eines Tauchsieders, nur daß der einen Stromanschluß braucht und die Uran-Brennstäbe »von sich aus« heiß werden. – Aber so einfach ist es eben nur im Prinzip.



In einer eigenen Halle ist die Turbinenanlage – hier der 1300 Megawatt-Turbosatz des Blocks B im Kernkraftwerk Biblis – untergebracht. Das Bild zeigt die Anlage noch während der Montage. Im Vordergrund ist der verhältnismäßig kleine Hochdruckkeil zu erkennen.



Seit 1968 arbeitet an der oberen Donau das Kernkraftwerk Gundremmingen mit einer elektrischen Leistung von 250 Megawatt. Ende 1975 verunglückten 2 Mitarbeiter tödlich. Sie waren Opfer eines Arbeitsunfalls, wie er auch sonst in konventionellen Energieanlagen vorkommt. Unfälle durch Strahlung mit Schäden in der Umgebung bzw. unter der unbeteiligten Bevölkerung hat es bisher in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie nicht gegeben.

Wie sie sich in die Umwelt einfügen

Statt Rauchgase Radioaktivität und weiterhin Wärme

Der Eingriff des Menschen in die natürlich gewachsenen Verhältnisse seiner Umwelt begann bereits vor etwa 500 000 Jahren. Als der Mensch lernte, das Feuer zu benutzen, erweiterten sich seine Lebensmöglichkeiten. Das Feuer erlaubte es ihm, in unwirtliche Gegenden vorzudringen und dort auch während Kälteperioden zu bleiben. Später gab ihm das Feuer die Möglichkeit, für seinen täglichen Bedarf Töpfereierzeugnisse zu brennen, Gläser herzustellen und Metall zu schmelzen. Das Feuer ließ ihn die Nacht zum Tag machen und war bis zur Erfindung der Glühlampe vor rund hundert Jahren seine Lichtquelle.

Die Umweltveränderungen, die Verbrennungsprozesse zwangsläufig mit sich bringen, waren zunächst geringfügig und konnten vernachlässigt werden. Als aber für die immer weiter wachsenden Energiebedürfnisse des Menschen Kohle und Erdöl zu Hilfe genommen werden mußten, wurden auch die Einflüsse auf die Umwelt schwerwiegender. Unterdessen ist es bereits so weit, daß man auf die Dauer Klimaveränderungen befürchten muß. Einerseits führt der zunehmende Kohlendioxydgehalt in der Atmosphäre zu einer Verringerung der Wärmeabstrahlung der Erde und damit zu ihrer zusätzlichen Aufwärmung. Andererseits wächst die Gefahr, daß der von unseren Heizungsanlagen, Fabriken und Kraftfahrzeugen in die Atmosphäre geschleuderte Staub und sonstige

Schwebeteilchen zu einer Abschirmung der Sonneneinstrahlung und einer entsprechenden Erniedrigung der Durchschnittstemperatur führen.

Hinzu kommen die Umweltbelastungen durch die zunehmende Wärmefreisetzung. In Großstädten liegt die Wärmeerzeugung durch technische Prozesse, auf den Quadratmeter umgerechnet, schon heute in der gleichen Größenordnung wie die Wärmeeinstrahlung der Sonne. Es läßt sich abschätzen, daß dies in nicht zu ferner Zukunft, zumindest regional begrenzt, zu spürbaren Veränderungen des Klimas führt.

Auch die Nutzung der Kernenergie ist nicht ohne Eingriff in die Umwelt möglich. Aber da hier ein anderer Prozeß benutzt wird – statt Verbrennungsreaktionen die Spaltung von Uran-Atomkernen –, ist der Umwelteinfluß anders, zumindest teilweise. Es entfällt die Belastung durch Verbrennungsgase und Staub. Es ändert sich nicht die Umweltbelastung durch Freisetzung von Wärme. Neu ist dagegen das Auftreten radioaktiver Abfallstoffe. Die Radioaktivität aber ist uns noch unheimlich. Wir werden uns erst an sie gewöhnen müssen. Würde Kernenergie bereits seit Jahrtausenden genutzt und wäre jetzt der Ofen neu erfunden worden, die Bedenken gegen seine weitverbreitete Verwendung wären mindestens so groß.

So ist das mit der Radioaktivität

Radioaktivität ist im Grunde genommen eine ganz natürliche Sache. Atomkerne können aus einer ganz unterschiedlichen Anzahl von Kernbausteinen – Protonen und Neutronen – zusammengesetzt sein. Doch

nur ein ganz bestimmtes Mischungsverhältnis führt zum Aufbau von stabilen Atomkernen. Werden also Atomkerne durch äußere Einflüsse durcheinandergebracht – etwa wenn man einen großen Atomkern in zwei etwa gleich große Teilstücke zertrümmert und die Trümmerstücke eigenständige Atomkerne werden wollen, müssen sie Strahlung aussenden. Sie müssen nach und nach einzelne Neutronen in Protonen umwandeln, einzelne Atombausteingruppen abstoßen oder einfach Energie abstrahlen. Sie sind radioaktiv.

Aber ihre Radioaktivität dauert nur so lange, bis die Teilstücke die stabile Form erreicht haben. Das geht im allgemeinen sehr schnell, innerhalb von Minuten, Stunden oder Tagen. Doch es gibt auch Atomarten, bei denen sich die radioaktiven Zerfallprozesse über Jahre, Jahrhunderte und Jahrtausende hinziehen. Bei dem in der Natur vorkommenden, früher für medizinische Bestrahlungszwecke sehr begehrten Radium vergehen zum Beispiel über 1500 Jahre, bis die ursprünglich vorhandene Aktivität auf die Hälfte abgesunken ist. Bei dem gleichfalls in der Natur vorkommenden radioaktiven Kalium dauert das Absinken der Aktivität auf die Hälfte, die sogenannte Halbwertzeit, sogar 1,3 Milliarden Jahre. So ist von diesem radioaktiven Element seit der Entstehung der Erde vor 4,5 Milliarden Jahren noch verhältnismäßig viel im Erdmantel vorhanden. Mit der beim radioaktiven Zerfall dieses Kaliums freigesetzten Energie wird fortlaufend der Erdmantel aufgeheizt und die Erde im Inneren heiß und flüssig gehalten. Wir nehmen radioaktives Kalium mit unserer Nahrung auf, zum Beispiel wenn wir Milch trinken oder Käse essen.

Die durch die Kernkraftwerke geschaffene neue Situation besteht darin, daß in erheblichem Umfang neue radioaktive Stoffe erzeugt werden. Deren weiteres Schicksal wirft drei Probleme auf:

1. Sehr geringe Aktivitätsmengen werden als Gas oder Flüssigkeit an die freie Atmosphäre beziehungsweise an das Abwasser abgegeben. Bei den gasförmigen Aktivitäten handelt es sich um Edelgase und radioaktives Jod. Sie werden in einer Kernenergieanlage von den Abluftreinigungsanlagen nicht vollständig zurückgehalten. Das gleiche gilt für die geringen radioaktiven Abwassermengen. Eine streng hundertprozentige Reinigung ist, wie bei allen technischen Prozessen, nicht zu erreichen.

2. Die weitaus meisten beim Reaktorbetrieb entstehenden Spaltprodukte bleiben in den Brennstäben eingeschlossen. Es ist ein erheblicher technischer Aufwand notwendig, um diese Einschließung auch bei einer schweren Betriebsstörung sicherzustellen. Das ist das zentrale Problem der Sicherheit. Darüber wird noch ausführlich zu sprechen sein.

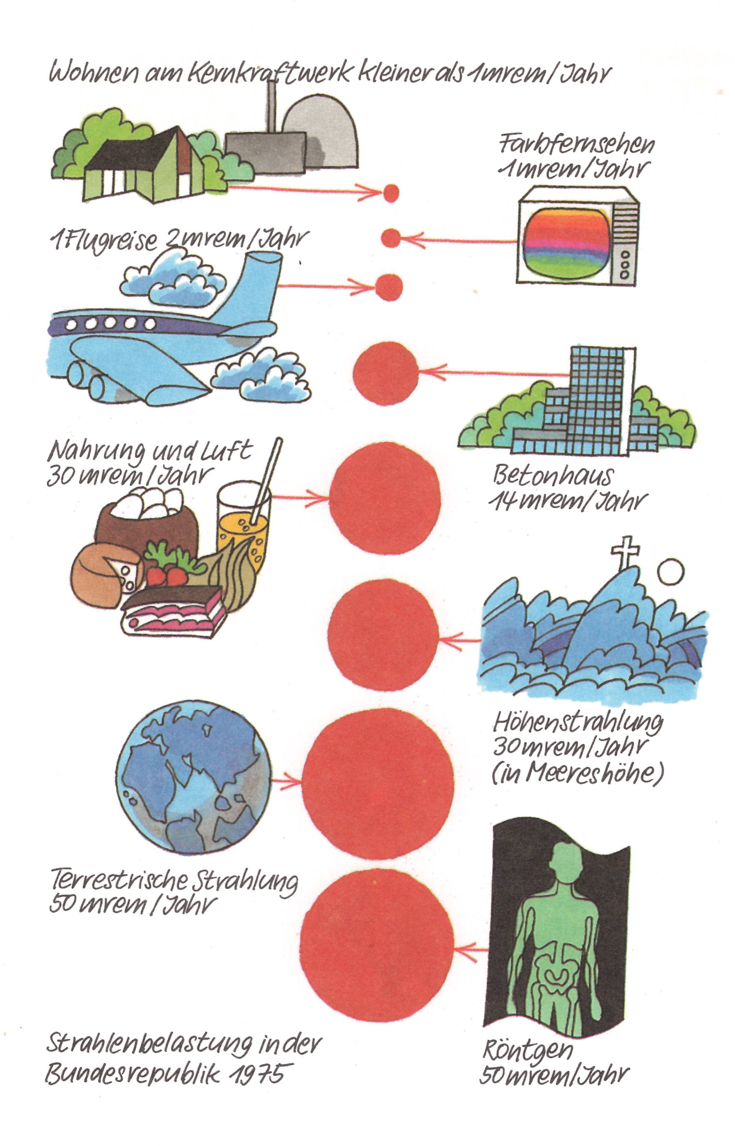
3. Die in den Brennstäben angesammelten radioaktiven Stoffe erschweren sehr deren weitere Behandlung wie ihren Abtransport und die Wiederaufarbeitung des beim Einsatz im Reaktor nur teilweise verbrauchten Urans. Anschließend stellt sich das Problem, diesen radioaktiven Abfall so einzulagern, daß er für sehr lange Zeit – viele Jahrhunderte – vom natürlichen Stoffkreislauf der Natur ausgeschlossen bleibt. Darauf wird gleichfalls später, im Zusammenhang mit den Fragen des Brennstoffkreislaufs, noch näher einzugehen sein.

Belastung durch Strahlung – auch in der Natur

Die künstlich zustandekommende Strahlenbelastung des Menschen durch den Betrieb von Kernkraftwerken muß man in Beziehung setzen zur natürlichen Strahlenbelastung. Dazu gehört zum Beispiel die Aufnahme von radioaktiven Stoffen durch die Nahrung wie etwa radioaktives Kalium oder radioaktiver Kohlenstoff. Nach einem Bericht der Bundesregierung über »die gentisch signifikante Strahlenexposition« in der Bundesrepublik Deutschland ist dafür eine Dosis von 30 mrem anzusetzen.

Natürliche Belastung ergibt sich auch aus der Wirkung der kosmischen Strahlen, auch Höhenstrahlung genannt. Sie entsteht durch energiereiche Teilchen – überwiegend Wasserstoffatomkerne –, die von der Sonne ausgeschleudert werden oder aus anderen kosmischen Quellen stammen. Beim Eindringen in die oberen atmosphärischen Schichten stoßen diese Teilchen mit den Atomen der Luft zusammen. Es entstehen Folgeprodukte – andere Teilchen –, die als kosmische Strahlung bis zur Erdoberfläche vordringen. Man kann sie zum Teil noch tief unter der Erdoberfläche, etwa in Bergwerken, nachweisen.

Die Intensität dieser auf den Menschen einwirkenden Strahlung hängt davon ab, wie dick die schützende Lufthülle über dem jeweiligen Aufenthaltsort ist. Die jährliche Strahlungsdosis nimmt mit der Höhe des Aufenthaltsortes um je 4 mrem (Millirem, die amtliche Einheit für die Strahlendosis) für jede 100 Meter zu. In Hamburg, also etwa auf der Höhe des Meeresspiegels, beträgt sie etwas über 30 mrem. In


Wohnen am Kernkraftwerk kleiner als 1mrem/Jahr
Farbfernsehen 1mrem/Jahr
1 Flugreise 2mrem/Jahr
Nahrung und Luft 30 mrem/Jahr
Betonhaus 14 mrem/Jahr
Höhenstrahlung 30mrem/Jahr (in Meereshöhe)
Terrestrische Strahlung 50 mrem/Jahr
Strahlenbelastung in der Bundesrepublik 1975
Röntgen 50mrem/Jahr

München, auf rund 500 Meter Höhe, sind es bereits an die 50 mrem im Feldberg-Gebiet des Schwarzwalds, in etwa 1200 Metern Höhe, rund 80 mrem. Wer innerhalb eines Hochhauses vom Erdgeschoß in den 10. Stock zieht, erhöht seine jährliche Strahlendosis um 1 mrem – Auch einige mehrstündige Flugreisen in etwa 10000 Meter Höhe ergeben als Folge der in der Höhe intensiver werdenden Höhenstrahlung eine Mehrbelastung um 1 bis 2 mrem.

Einen weiteren Anteil an der natürlichen Strahlenbelastung des Menschen hat die terrestrische Strahlung. Das ist eine Strahlung, die aus der Erde kommt. Sie hängt weitgehend von der Zusammensetzung des Bodens ab. Für das Gebiet der Bundesrepublik weist sie erhebliche Unterschiede auf. In München zum Beispiel macht die jährliche Dosis im Durchschnitt 30 mrem aus. Die gleichen Werte gelten für Frankfurt und Köln. In Freiburg und Hamburg dagegen ist die Dosis dreimal so hoch, also 90 mrem. Erheblich variiert wird dieser Anteil der Strahlenbelastung im Einzelfall durch das Baumaterial des Hauses, in dem man lebt. In einem Betonhaus muß man mit 14 mrem mehr rechnen als in einem Holzhaus. Besonders hohe zusätzliche Werte von 40 mrem und darüber wurden vor kurzem für Häuser im Saarland und in Rheinland-Pfalz gemessen. Die Ursache dafür ist die Verwendung

Der Mensch ist schon immer radioaktiver Strahlung ausgesetzt gewesen. Die Grafik zeigt die mittlere Strahlenbelastung für deutsche Verhältnisse in Millirem (mrem) pro Jahr, der Maßeinheit für die biologische Wirkung absorbierter Strahlung. Die natürliche Strahlenbelastung allein beträgt in der Bundesrepublik im Mittel 110–120 mrem.

von Bims- und Schlackensteinen. Diese Steine weisen einen verhältnismäßig hohen Anteil natürlicher Radioaktivität auf.

Zu dieser Strahlenbelastung müssen noch Belastungen durch Röntgen-Untersuchungen hinzugerechnet werden. Sie können im Einzelfall ohne nennenswerte Gefährdung sehr hohe Werte erreichen. Im Durchschnitt wird sie für jeden Bürger in der Bundesrepublik auf 50 mrem pro Jahr geschätzt. Eine gewisse Rolle spielen auch noch die Nachwirkungen der umfangreichen amerikanischen und sowjetischen Kernwaffenversuche der fünfziger und sechziger Jahre. Die daraus resultierende Strahlenbelastung ist unterdessen auf weniger als 8 mrem pro Jahr abgesunken.

Schließlich ist noch die sehr schwache Röntgenstrahlung zu nennen, die insbesondere Farbfernsehgeräte abgeben. Bei täglich zweistündigem Aufenthalt vor dem Bildschirm ist mit einer jährlichen Belastung von etwa 1 mrem zu rechnen.

Aktivitätsabgabe von Kernkraftwerken

Die von den Zulassungsbehörden für den Betrieb von Kernkraftwerken genehmigten Aktivitätsabgaben sind so festgelegt, daß die Strahlenbelastung aus der Luft in der Umgebung eines Kernkraftwerkes an keiner Stelle den Wert von 30 mrem pro Jahr überschreitet. Im Normalbetrieb der Kernkraftwerke liegen die tatsächlichen Aktivitätsabgaben weit darunter. Außerdem sind die Witterungsbedingungen meist viel günstiger als im extrem ungünstigen Fall, von dem die

Genehmigungsbehörde ausgeht. Die bisherigen Überwachungsmessungen an den deutschen Kernkraftwerken ergaben für die unmittelbare Umgebung laut Bericht der Bundesregierung nur Belastungswerte von »Bruchteilen eines Millirems bis zu einigen Millirem«, also durchschnittlich weniger als 1 mrem pro Jahr. Das ist weniger, als jemand beim Umzug in ein Hochhaus in Kauf nimmt.

Aber wie wird es sein, wenn eines Tages sehr viele Kernkraftwerke in der Bundesrepublik arbeiten? Die Strahlungsmehrbelastung durch ein Kernkraftwerk beträgt heute für die Gesamtbevölkerung im Durchschnitt nur etwa 0,002 mrem pro Jahr. Es müßten also theoretisch rund 500 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik in Betrieb sein, um eine Erhöhung der Strahlenbelastung um 1 mrem pro Jahr zu bewirken. Tatsächlich sind zur Zeit 14 Kernkraftwerke in Betrieb.

Nun gibt es Skeptiker, die sich mit dieser pauschalen Betrachtungsweise nicht zufriedengeben. Sie haben versucht, die statistische Wahrscheinlichkeit zu berechnen, wie weit eine geringe Strahlenmehrbelastung, unabhängig von der vielfach höheren natürlichen Strahlenbelastung, noch zusätzlich zum Tod führen kann. Keineswegs erwiesen – doch theoretisch vorstellbar – erscheint das für die Entstehung von Krebs und von genetischen Schäden. In den USA hat man sich dieser Frage sehr sorgfältig angenommen und ist dabei zu folgendem Ergebnis gekommen: Bei einer zusätzlichen Strahlenbelastung der gesamten Bevölkerung durch radioaktive Ableitungen aus Kernkraftwerken in Höhe von 0,01 mrem könnte theoretisch mit maximal 0,04 zusätzlichen Krebstoten jährlich

gerechnet werden, das heißt: Mit einem Krebstoten mehr alle 25 Jahre. Insgesamt sterben in den USA in jedem Jahr mehr als 300 000 Menschen an Krebs. – Die Berechnungen für Erbschäden liegen in der gleichen Größenordnung.

In einem UNO-Bericht wird das zusätzliche Risiko durch eine zusätzliche Strahlungsdosis von 1 mrem pro Jahr für 1 Million Personen mit 0,01, also 1 Person in 100 Jahren, angegeben. Diesen Wert hat sich auch die Bundesregierung im Deutschen Bundestag bei einer Antwort auf eine Große Anfrage zur friedlichen Nutzung der Kernenergie am 16. Juli 1975 zu eigen gemacht.

Das andere Problem: Wärme-Verschmutzung

So stellt sich als zweites Problem das der Wärmefreisetzung, die Wärme-Verschmutzung durch Kernkraftwerke. Zwar handelt es sich dabei nicht um ein spezifisches Problem der Kernenergie, doch es ist durch sie zweifellos besonders in die Diskussion gekommen.

Zur Kühlung einer Kraftwerksturbine dient vorzugsweise das Wasser eines vorbeiströmenden Flusses. Wenn es seine Kühlarbeit getan hat, wird es an den Fluß zurückgegeben, doch es ist dabei wärmer geworden. Rücksichtnahme auf die Umwelt und gesetzliche Vorschriften verbieten es, den Fluß über ein bestimmtes Maß hinaus aufzuwärmen. Eine maßvolle Aufwärmung des Flusses durch zurückfließendes Kühlwasser kann jedoch sogar positive Folgen haben.

Im Abwasserkanal eines schwedischen Kernkraftwerks wird zum Beispiel mit großem Erfolg eine

Dauernd bestehende Risiken

Art des Risikos	Jährliche Todesfälle auf 1 Million Menschen
Naturliche Krankheiten	10.000
Raucher-krankheiten	2.000
Unfalle aller Art	500
Verkehrsunfalle	300
Selbstmord	200
Elektrizitat (Unfalle in Betrieb und Haushalt)	20
Fossile Kraftwerke (SO_2-Emission)	3
Naturkatastrophen	1
Kernkraftwerke (Leukamie und Krebs)	0,1

vorübergehend bestehende Risiken

Art des Risikos	Todesfälle auf 1 Million Menschen
10 Std Linienflug	25
10 Std Autofahrt	6
10 Std. Eisenbahnfahrt	0,5
1 Pockenschutzimpfung	17
1 Anasthesiespritze beim Zahnarzt	5,7
1 Tag in der Umgebung eines Kernkraftwerks	0,0003

Man muß das geringfügige Risiko, das aus einem künftigen ausgedehnten Einsatz von Kernkraftwerken resultiert, im Vergleich zu den Risiken sehen, denen der Mensch ohnehin ständig ausgesetzt ist oder die er aufgrund anderer Errungenschaften unserer Zivilisation meist ohne Bedenken vorübergehend eingeht. Zu rauchen oder Auto zu fahren ist unvergleichlich gefährlicher, und selbst die Wahrscheinlichkeit für Schädigungen durch die Rauchgase herkömmlicher Wärmekraftwerke muß man als dreißigmal größer ansetzen.

Lachszucht betrieben. Mit einem Ertrag von 2000 Kilogramm Forellen wurde im Herbst 1977 der erste Mastversuch im Kühlwasserstrom des Gemeinschaftshaftswerks an der Kieler Förde abgeschlossen. Durch die höhere Temperatur wurde der normale Wachstumsstillstand der Fische im Winter überbrückt und ein Fischgewicht von 250 bis 300 Gramm erzielt.

Bei uns in Mitteleuropa sind alle größeren Flüsse weitgehend verschmutzt. Ein erheblicher Temperaturanstieg würde zu einem so schnellen Sauerstoffverbrauch führen, daß schließlich alles Leben im Fluß erstürbe. Die Aktivität der Bakterien, die die Schmutzstoffe im Wasser abbauen, wird nämlich um so größer, je wärmer es ist. Aber die Bakterien brauchen zu ihrer Abbauarbeit Sauerstoff. Sie finden ihn in unseren Flüssen nur in begrenztem Umfang. Ist der Sauerstoffgehalt des Wassers verbraucht, »kippt« der Fluß um. Das heißt: Die sauerstoffverarbeitenden Bakterien sterben ab. Fäulnisbakterien, die ohne Sauerstoff auskommen, übernehmen nun den Abbau der Schmutzstoffe und erzeugen üble Gerüche. Der Fluß wird zur Kloake.

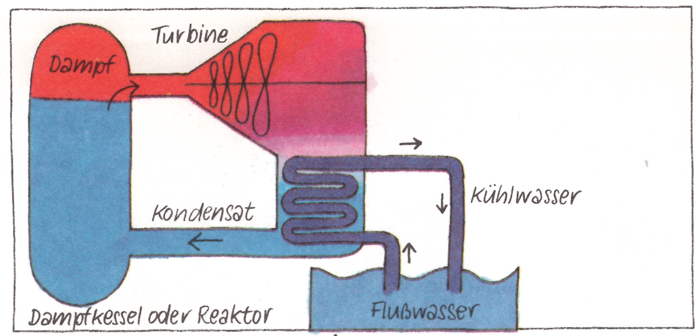
So hilft man sich mit Kühltürmen. Kühlwasser wird dem Fluß entnommen und im Kondensator der Turbine um etwa 10 Grad aufgewärmt. Danach gelangt es in einen Kühlturm. Dort wird ihm durch Verdunstung Wärme entzogen und seine Temperatur wieder herabgesetzt, so daß nach Rückleitung in den Fluß dieser praktisch nicht erwärmt wird. Das ist die Wirkungsweise der sogenannten Naß-Kühltürme. Ein großer Vorteil der Naßkühltürme ist, daß hierbei das Wasser mit Sauerstoff aus der Luft angereichert wird.

Daneben gibt es die sogenannte Trockenkühlung. Auch für sie werden Kühltürme benötigt. Sie sind höher als die Naß-Kühltürme, oder man muß den Kühlluftstrom durch Gebläse künstlich entfachen. Ein Trocken-Kühlturm arbeitet im Prinzip wie ein Auto-Kühler. Das Wasser tropft nicht mehr offen durch den Kühlturm, sondern fließt durch ein feines Netzwerk von Rohrleitungen. Dabei gibt es seine Wärme an die Luft ab, die durch den Kühlturm geblasen wird. Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen beiden Systemen: Beim Trocken-Kühlverfahren bilden sich keine Dampfschwaden. Doch Messungen haben gezeigt, daß Kühltürme keinen wesentlichen Einfluß auf das lokale Klima haben. Die Sonnenscheindauer wird in der unmittelbaren Umgebung nur um 0,2 Prozent beeinträchtigt, also um 1 Minute verkürzt während eines Tages mit 8 Stunden Sonnenschein.

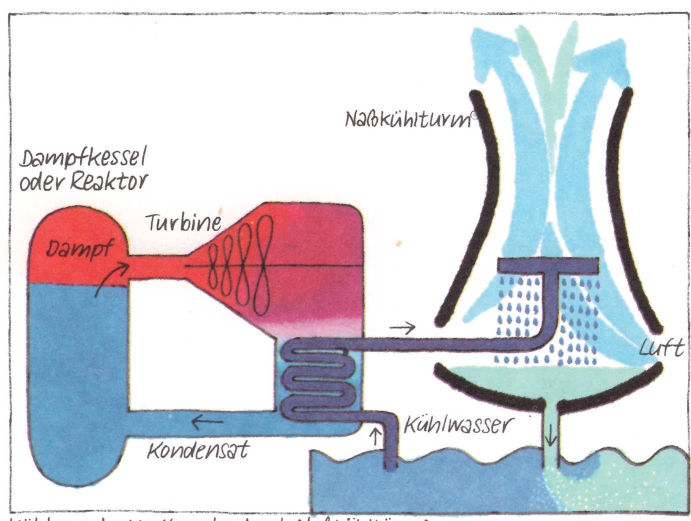
Aber man darf in der heutigen Zeit auch die Beeinträchtigung der Landschaft nicht außer Betracht lassen. Ein Trocken-Kühlturm von vielleicht 140 oder gar 200 Meter Höhe und etwa gleichem Durchmesser an der Basis verändert nachhaltig das Bild der Landschaft. Wenn neue Kernkraftwerksstandorte von der Öffentlichkeit akzeptiert werden sollen, müssen auch raumplanerische Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Kraftwerkswärme für die Fernheizung

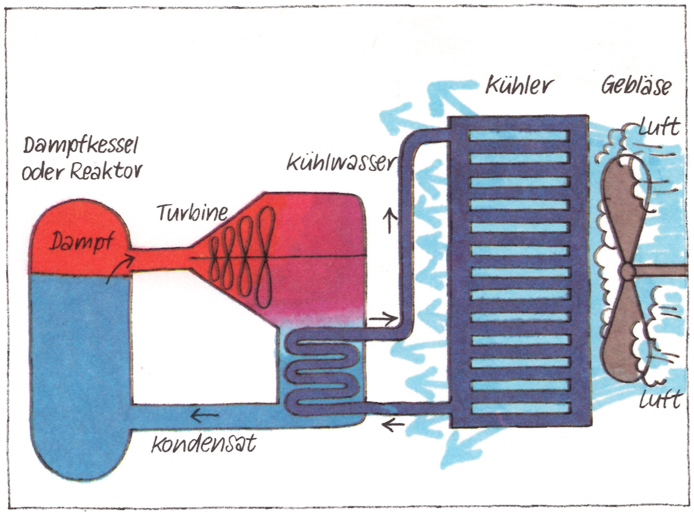
Die Energiekrise hat eine alte Lieblingsidee der Kraftwerks-Techniker wieder aktuell werden lassen: die Stromerzeugung mit der Fernheizung zu koppeln. Es



Kühlung des Kraftwerks durch Flußwasser



Kühlung des Kraftwerks durch Naßkühltürme

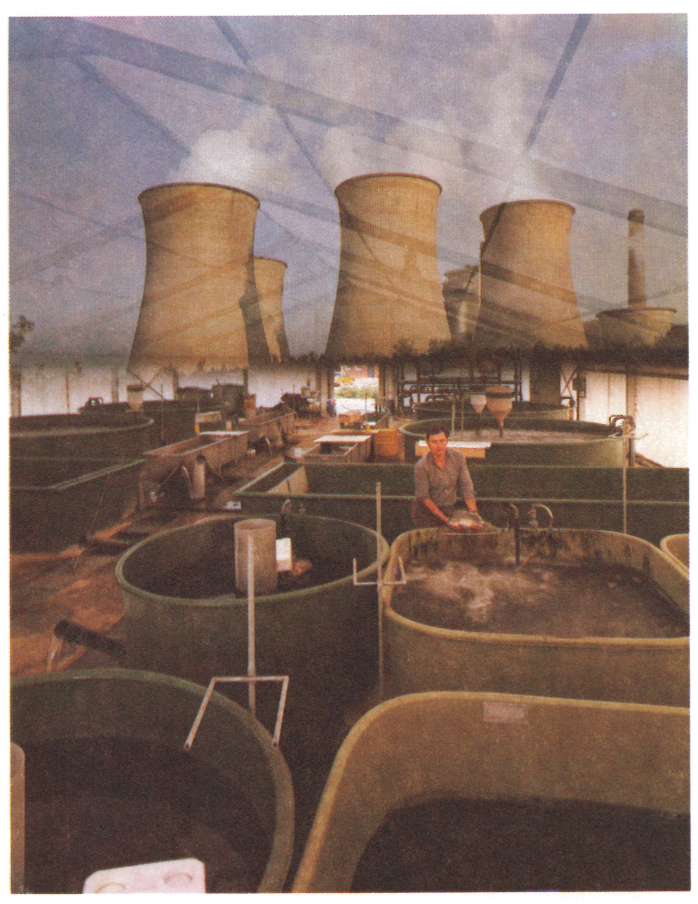


Kühlung des Kraftwerks durch Trockenkühler

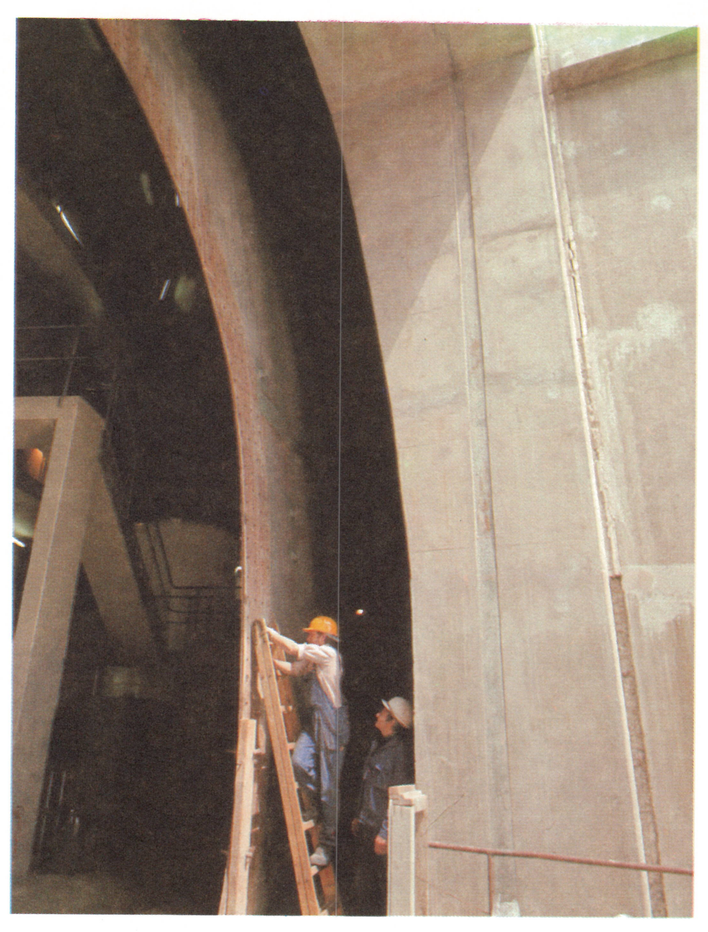
Die Vernichtung der in jedem Wärmekraftwerk zwangsläufig auftretenden Abfallwärme kann auf dreierlei Weise erfolgen: Am beliebtesten ist die Kühlung durch das Wasser eines vorbeifließenden Flusses (links oben), weil diese Art der Kühlung am effektivsten und darum auch am billigsten ist. Nur kann man unsere verschmutzten Flüsse nicht beliebig aufwärmen. In einem sogenannten Naßkühlturm (links unten) tropft das im Kondensator aufgewärmte Wasser offen durch den Luftstrom des Turms, so daß es teilweise verdunstet und das restliche Wasser dadurch heruntergekühlt wird. Wenn wenig Kühlwasser vorhanden ist, kann man das aus dem Turm kommende Wasser auch wieder unmittelbar in den Kondensator leiten. Es muß dann lediglich das verdunstete Wasser ergänzt werden. Die Trockenkühlung (oben) entspricht der Kühlung eines Kraftfahrzeugmotors. Das in der Turbine aufgeheizte Kühlwasser durchströmt ein geschlossenes Rohrleitungssystem und gibt durch die Rohrwände seine Wärme an die vorbeistreichende Luft ab. Hier können sich keine Nebelschwaden bilden, doch dafür ist der Wirkungsgrad des Kraftwerks deutlich verschlechtert.

gibt kaum eine rationellere und umweltfreundlichere Energienutzung. Ein weitverzweigtes Netz von Heißdampf- oder Heißwasserleitungen könnte in den Städten weitgehend alle Wohnsiedlungen mit Heizwärme und Warmwasser versorgen. Knotenpunkte dieses Netzes wären Kernkraftwerke zur gleichzeitigen Versorgung mit Heizwärme und elektrischer Energie. Die Ausnutzung der sogenannten Kraftwerksabwärme zu Heizzwecken ist heute technisch nicht möglich. Dazu liegt sie mit ihrer Temperatur von etwa 30 °C zum Heizen viel zu niedrig. Der Einsatz von Kraftwerken zur Erzeugung sowohl von elektrischer Energie als auch von Heizenergie geht nur durch Auskopplung von heißem Dampf oder heißem Wasser auf einem Temperaturniveau von etwa 120 °C, was mit einer entsprechenden Verminderung der elektrischen Energie-Erzeugung einhergeht.

Hamburg, West-Berlin, München und weitere 17 Städte der Bundesrepublik verfügen bereits über Fernwärmenetze mit Anschlußwerten zwischen 300 und 3000 Megawatt Heizleistung. Angesichts der geringen Energiekosten für Einzel-Ölheizungen war die Fernwärme in den letzten Jahren freilich kaum konkurrenzfähig. Seitdem sich die Preissituation für Erdöl jedoch grundsätzlich verändert hat, sieht die Sache anders aus. Durch eine Reihe von Studien versucht man zur Zeit festzustellen, wieweit Fernheizung im großen Stil mit fossilen und nuklearen Kraftwerken technisch möglich und wirtschaftlich vernünftig sein könnte.



Dank überschüssiger Wärme der Kraftwerke reift Gemüse schneller, als es gewöhnlich in unseren Breiten üblich ist, kommt es bei der Fischzucht zu einer erheblichen Verkürzung der Wachstumszeit. Wie hier in Neurath, in der unmittelbaren Nähe eines Braunkohle-Kraftwerkes zwischen Köln und Aachen, gibt es mehrere Versuchsanlagen, in denen die Nutzung der Kraftwerks-Abwärme für die Landwirtschaft mit Erfolg erprobt wird.



Die Sicherheits-Philosophie für den Bau von Kernkraftwerken besteht unter anderem in der Errichtung von Sicherheitsbarrieren für den Einschluß der Spaltprodukte. Eine dieser Sicherheitsbarrieren ist das doppelwandige Reaktorgebäude mit einer gasdichten Stahlblechkugel innen und einer Betonschale außen. Während der Bauarbeiten (im Bild) kann man diese noch sehen.

Wie Sicherheit geschaffen und kontrolliert wird

Politische Durchsetzbarkeit und staatliche Genehmigung

Ursprünglich waren es vor allem Fragen der Sicherheit, an denen sich die große Kernenergie-Diskussion entfachte. Ehe sich die Ideologen dieses Themas bemächtigten, ging es im wesentlichen um die im Kern zwar unberechtigte, doch durchaus verständliche Sorge der Menschen, hier werde eine Technologie geschaffen, deren Sicherheit fragwürdig sei. Geschieht wirklich alles, so fragten sie, um selbst bei einer schweren Betriebsstörung – und trotz eines »Restrisikos« – den sicheren Einschluß der hochgradig radioaktiven Spaltprodukte zu gewährleisten? Wie ist das mit der Restwärme und wenn ein Flugzeug auf ein Kernkraftwerk stürzt?

Es blieb nicht bei diesem Problemkreis und auch nicht beim Diskutieren. An Kernkraftwerksbaustellen kam es zu Demonstrationen mit bürgerkriegsartigem Charakter. Es sei nur an Wyhl, Brokdorf und Grohnde erinnert. Besorgt stellte Bundespräsident Walter Scheel nach diesen Ereignissen fest: »Es ist kein legitimes politisches Ziel von Bürgerinitiativen, die Errichtung von Kernkraftwerken unmöglich zu machen, sei es mit friedlichen, sei es mit gewaltsamen Mitteln. Ein Bürger, der nicht das Recht anerkennt, verdient nicht den Ehrennamen des Bürgers. Bürgerinitiativen, die das Recht nicht anerkennen, sind keine Bürgerinitiativen.«

Mit den Vorgängen in Wyhl, Brokdorf und Grohnde ist das grundsätzliche Problem der politischen Durchsetzbarkeit der Kernenergie deutlich geworden. Es steht zur Diskussion, wieweit es in einer Demokratie möglich ist, eine von einer Mehrheit für notwendig gehaltene und beschlossene technisch-wirtschaftliche Entwicklung gegen lautstarke Minderheiten durchzusetzen. Offenbar stößt man hier an Grenzen, die durch das Selbstverständnis der Demokratie gezogen sind. Solche Widerstände sollen in einer Demokratie möglichst nur mit Mitteln der Demokratie überwunden werden: durch bessere Information des Bürgers, durch den Appell an seine Vernunft, aber auch durch seine verstärkte Beteiligung an Entscheidungen.

Das setzt freilich guten Willen auf allen Seiten voraus. Der Fachmann darf nicht müde werden, mit sachlichen Argumenten um Vertrauen zu werben, sein Zuhörer darf sich diesem Bemühen nicht von vornherein verschließen. Er kann nicht die persönliche Integrität des Fachmanns grundsätzlich in Zweifel ziehen oder ihn von vornherein als interessengebunden abtun. Auf seiten des Politikers bedarf es einigen Mutes, in einer kontroversen Situation sachgerechte Entscheidungen zu treffen, selbst auf die vermeintliche Gefahr des Verlustes einiger Wählerstimmen hin.

Vor allem müssen die demokratischen Spielregeln eingehalten werden, und es darf nicht dahin kommen, daß an den Grundlagen des Rechtsstaates gerüttelt wird. Dazu gehört auch, daß politisch notwendige Entscheidungen nicht durch Beschlüsse von Verwaltungsrichtern ersetzt werden.

Die Sicherheit der Kernkraftwerke ist aber beileibe nicht nur eine politische Frage. Sie ist vor allem eine Aufgabe der staatlichen Behörden. Kritiker der kerntechnischen Entwicklung verkennen oft die Tatsache, daß sowohl die Einrichtung als auch der Betrieb einer Kernenergieanlage in allen Einzelheiten einem behördlichen Genehmigungsverfahren unterliegen. Zudem erfolgen immer wieder technische Überprüfungen aufgrund behördlicher Auflagen. Die Genehmigungen sind abhängig von der Erfüllung bestimmter Voraussetzungen. Mit ihnen wird der Schutz der Beschäftigten, unbeteiligter Dritter und der Öffentlichkeit gesichert. Dabei hat der Schutz der Öffentlichkeit Vorrang vor dem Anspruch des Antragstellers, eine kerntechnische Anlage zu bauen und zu betreiben.

Was das Gesetz vorschreibt

Grundlage jedes Genehmigungsverfahrens ist das bundesdeutsche Atomgesetz. Es wird ständig der technischen Entwicklung angepaßt. Genehmigungskriterien sind zum Beispiel die Zuverlässigkeit sowohl des Antragstellers wie der für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs verantwortlichen Personen. Fachkunde muß nachgewiesen werden. Ferner muß sichergestellt sein, daß

- die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist,
- der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet ist,
- überwiegend öffentliche Interessen – insbesondere

im Hinblick auf die Reinhaltung des Wassers, der Luft und des Bodens – der Wahl des Standorts der Anlage nicht entgegenstehen.

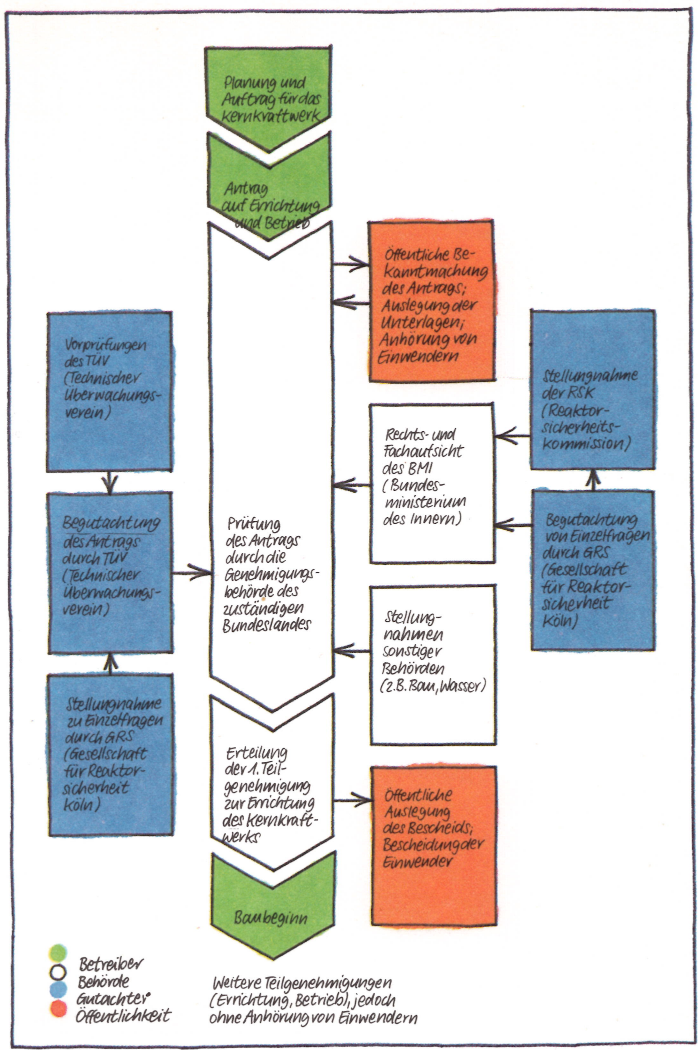
Im Ausland ist für die Genehmigung kerntechnischer Anlagen vielfach eine zentrale Behörde zuständig. Der Vorteil dieser Regelung besteht in einem übersichtlichen Verfahren mit einfachem Informationsfluß. Die Zahl der an einem Genehmigungsverfahren Beteiligten bleibt klein. Als Nachteil wird dagegen die Schwierigkeit angesehen, eine derart selbständige Stelle zu kontrollieren.

In der Bundesrepublik ist lediglich die kerntechnische Gesetzgebung beim Bund zentralisiert. Die Durchführung der Gesetze dagegen fällt in die Zuständigkeit der Länder. Jedoch geschieht das auf der Grundlage einer gemeinsamen Erörterung mit dem Bundesministerium des Innern, das für Reaktorsicherheit und Strahlenschutz zuständig ist. Um auf diesem Gebiet jede Interessen-Kollision zu vermeiden, fällt dagegen die Förderung und Weiterentwicklung der Kerntechnik und die Sicherheitsforschung in die Zuständigkeit des Bundesministeriums für Forschung und Technologie.

Bevor ein Kernkraftwerk gebaut werden kann

Ein Elektrizitätsversorgungs-Unternehmen, das ein Kernkraftwerk bauen will, richtet seinen Genehmigungsantrag an das zuständige Landesministerium.

Die Genehmigung zur Errichtung eines Kernkraftwerks ist ein aufwendiger Prozeß, bei dem neben verschiedenen Behörden auch Fachgutachter und die Öffentlichkeit eingeschaltet sind.



Schema des Ablaufs eines atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens

Dem Antrag muß eine ausführliche Anlagenbeschreibung und ein Sicherheitsbericht beiliegen. Der Bericht beschreibt die für die denkbaren Störmöglichkeiten vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen. Das Landesministerium schaltet alle betroffenen Behörden des Landes, der Gemeinden und sonstiger Gebietskörperschaften sowie das Bundesministerium des Innern ein. Außerdem beauftragt es unabhängige Gutachter mit der Prüfung und Kontrolle aller Fragen, die den Standort und die technische Ausführung des Kernkraftwerks und seinen späteren Betrieb betreffen. Als Gutachter fungieren in der Regel der zuständige Technische Überwachungs-Verein und die Gesellschaft für Reaktorsicherheit in Köln (GRS).

Das Bundes-Innenministerium konsultiert seinerseits die betroffenen Bundesbehörden und weitere Gutachter, insbesondere die Reaktor-Sicherheitskommission. Das ist ein Gremium unabhängiger Experten verschiedener einschlägiger Wissenschaftsbereiche. Vom zuständigen Landesministerium wird schließlich ein öffentlicher Anhörungs-Termin angesetzt. Dabei werden Einwendungen der mit dem Bauvorhaben nicht oder nur bedingt einverstandenen Bürger erörtert. Auf Einwendungen muß nach dem Anhörungstermin schriftlich geantwortet werden. Wenn alle Hindernisse aus dem Weg geräumt sind, steht am Ende dieser langwierigen Prozedur die erste Teilgenehmigung. Sie ist zugleich die Zustimmung zum Standort und zum sicherheitstechnischen Grundkonzept des Kernkraftwerks. Entsprechend den Gutachten, den behördlichen oder privaten Einwänden enthält die Teilgenehmigung unter Umständen auch

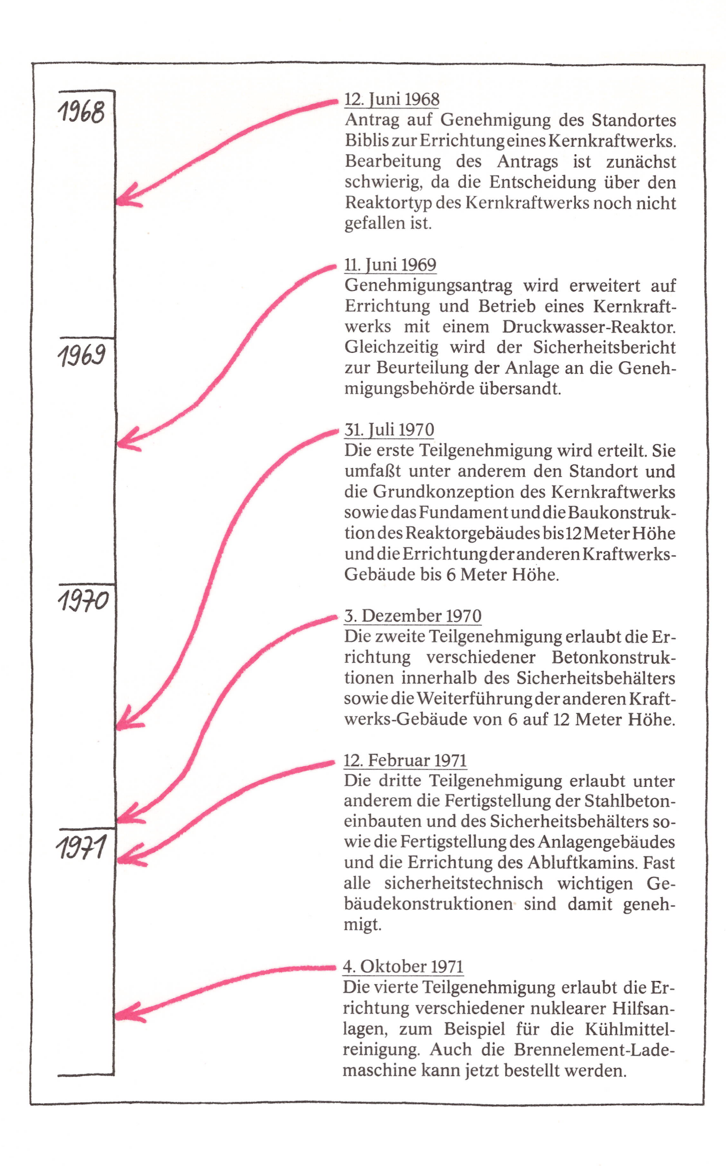
bestimmte Auflagen, die der Bauherr zu erfüllen hat. Mit dem Fortschreiten des Baues folgen weitere Teilgenehmigungen bis zur Genehmigung des Probebetriebs und des Dauerbetriebs. Durch die Aufteilung der Genehmigung in mehrere Schritte ist gesichert, daß die jeweils letzten sicherheitstechnischen Erkenntnisse in Form entsprechender Auflagen berücksichtigt werden können. Aber auch nach der Betriebsgenehmigung bleibt das Kraftwerk unter behördlicher Aufsicht. Bei Störfällen besteht die Möglichkeit, das Genehmigungsverfahren wieder aufleben zu lassen.

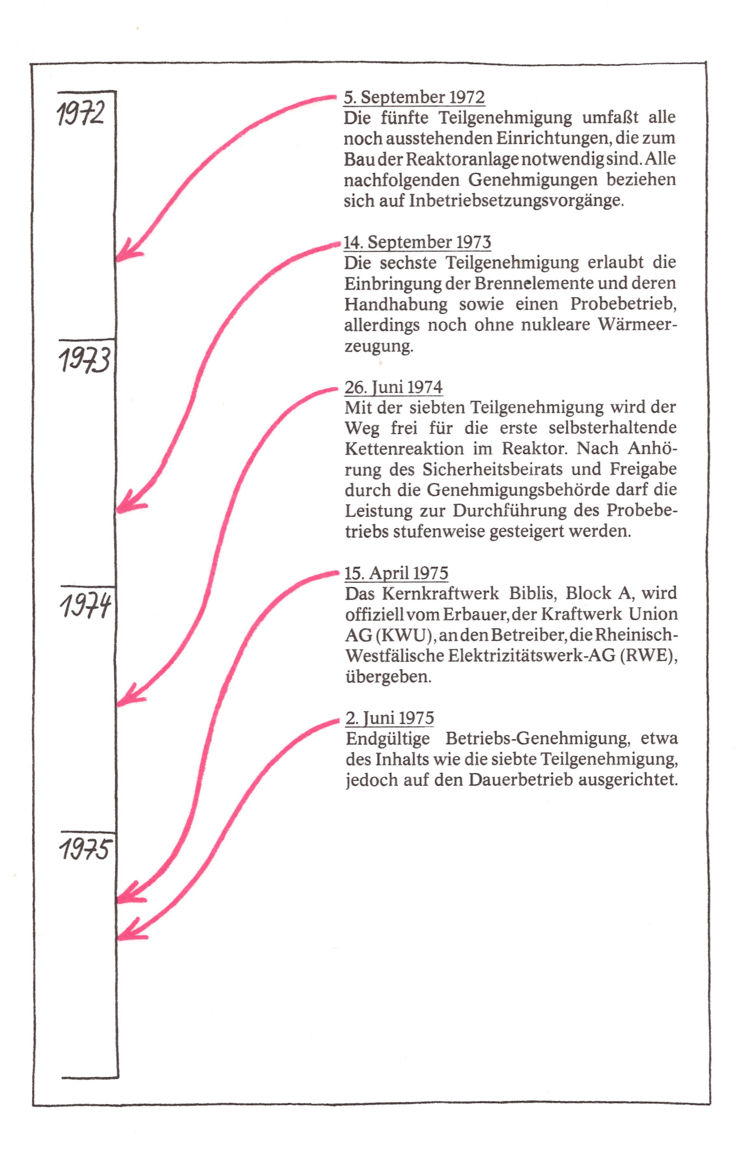
Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens durch Standardisierung

Diese Prozedur ist personal- und kostenintensiv, und der damit verbundene Aufwand nimmt zu, weil die Anforderungen an die Sicherheit immer höher werden. Die Bereitstellung zusätzlich geforderter Unterlagen und Nachweise durch den Antragsteller braucht Zeit; manchmal sind auch die Gutachter überlastet, und die Behörden geraten mit der Abwicklung der Verfahren in zeitlichen Rückstand.

Eine derzeit betriebene Standardisierung der Sicherheitsanforderungen soll dieser Gefahr entgegenwirken. Weiter führt die zum Teil bereits praktizierte Standardisierung der Kraftwerke selbst. Wenn über-

Nächste Seite: Das Genehmigungsverfahren begleitet den Bau eines Kernkraftwerks Stufe um Stufe. Beim Kernkraftwerk Biblis, Block A, vergingen fast genau sieben Jahre vom ersten Antrag bis zur endgültigen Betriebsgenehmigung.


1968
1969
1970
1971
12. Juni 1968
Antrag auf Genehmigung des Standortes Biblis zur Errichtung eines Kernkraftwerks. Bearbeitung des Antrags ist zunächst schwierig, da die Entscheidung über den Reaktortyp des Kernkraftwerks noch nicht gefallen ist.
11. Juni 1969
Genehmigungsantrag wird erweitert auf Errichtung und Betrieb eines Kernkraftwerks mit einem Druckwasser-Reaktor. Gleichzeitig wird der Sicherheitsbericht zur Beurteilung der Anlage an die Genehmigungsbehörde übersandt.
31. Juli 1970
Die erste Teilgenehmigung wird erteilt. Sie umfaßt unter anderem den Standort und die Grundkonzeption des Kernkraftwerks sowie das Fundament und die Baukonstruktion des Reaktorgebäudes bis 12 Meter Höhe und die Errichtung der anderen Kraftwerks-Gebäude bis 6 Meter Höhe.
3. Dezember 1970
Die zweite Teilgenehmigung erlaubt die Errichtung verschiedener Betonkonstruktionen innerhalb des Sicherheitsbehälters sowie die Weiterführung der anderen Kraftwerks-Gebäude von 6 auf 12 Meter Höhe.
12. Februar 1971
Die dritte Teilgenehmigung erlaubt unter anderem die Fertigstellung der Stahlbetoneinbauten und des Sicherheitsbehälters sowie die Fertigstellung des Anlagengebäudes und die Errichtung des Abluftkamins. Fast alle sicherheitstechnisch wichtigen Gebäudekonstruktionen sind damit genehmigt.
4. Oktober 1971
Die vierte Teilgenehmigung erlaubt die Errichtung verschiedener nuklearer Hilfsanlagen, zum Beispiel für die Kühlmittelreinigung. Auch die Brennelement-Lademaschine kann jetzt bestellt werden.


1972
1973
1974
1975
5. September 1972
Die fünfte Teilgenehmigung umfaßt alle noch ausstehenden Einrichtungen, die zum Bau der Reaktoranlage notwendig sind. Alle nachfolgenden Genehmigungen beziehen sich auf Inbetriebsetzungsvorgänge.
14. September 1973
Die sechste Teilgenehmigung erlaubt die Einbringung der Brennelemente und deren Handhabung sowie einen Probebetrieb, allerdings noch ohne nukleare Wärmeerzeugung.
26. Juni 1974
Mit der siebten Teilgenehmigung wird der Weg frei für die erste selbsterhaltende Kettenreaktion im Reaktor. Nach Anhörung des Sicherheitsbeirats und Freigabe durch die Genehmigungsbehörde darf die Leistung zur Durchführung des Probebetriebs stufenweise gesteigert werden.
15. April 1975
Das Kernkraftwerk Biblis, Block A, wird offiziell vom Erbauer, der Kraftwerk Union AG (KWU), an den Betreiber, die Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk-AG (RWE), übergeben.
2. Juni 1975
Endgültige Betriebs-Genehmigung, etwa des Inhalts wie die siebte Teilgenehmigung, jedoch auf den Dauerbetrieb ausgerichtet.

wiegend gleiche Typen von Kraftwerken gebaut werden, genügt eine generelle Genehmigung. Lediglich die Bauausführung muß dann noch im Einzelfall überwacht werden.

Wünsche zur Revision des Genehmigungsverfahrens kommen auch von den Kernenergie-Gegnern. Ihnen genügt der Grad der bisher üblichen Einbeziehung der Öffentlichkeit in das Genehmigungsverfahren nicht. Sie fordern eine weitergehende Mitsprache, insbesondere durch Zulassung der Verbandsklage. So notwendig und richtig es auch ist, die Rechte und Belange der Betroffenen schon im Genehmigungsverfahren soweit wie möglich zu klären und zu berücksichtigen, problematisch können diese Wünsche werden, wenn überregionale Interessen-Organisationen mit allen Mitteln ihren Willen durchsetzen wollen und eine sachliche Auseinandersetzung unmöglich machen. Der demokratische Staat kann nicht zulassen, Bundespräsident Walter Scheel ist darauf bei seiner Ansprache in München eingegangen, daß das Prinzip der repräsentativen Demokratie mißachtet wird. Nach diesem Prinzip werden mehrheitliche Entscheidungen von den mit der Willensbildung beauftragten Mandatsträgern getroffen.

Die passive Sicherheit . . .

Das Sicherheitskonzept eines Kernkraftwerks läßt sich auf eine einfache Formel bringen. Sie besteht darin, den Reaktor so zu betreiben, daß radioaktive Spaltprodukte nicht in unvertretbar großen Mengen in die freie Atmosphäre gelangen. Alle konstruktiven Sicher-

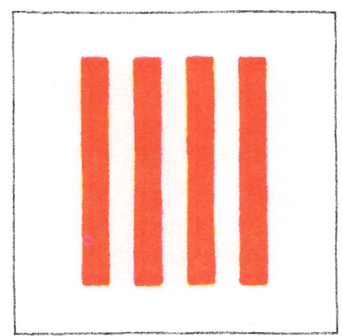
heitsmaßnahmen sind darauf angelegt, dies selbst bei den schwersten Betriebsstörungen zu verhindern.

Das geschieht zunächst durch eine Reihe passiver Sicherheits-Barrieren. Die Spaltprodukte entstehen im Uran, also in den Kernbrennstofftabletten, mit denen die Brennstäbe gefüllt sind. Das bedeutet, sie sind von der Struktur des Brennstoffs – die erste Sicherheits-Barriere – umschlossen und in ihm gefangen. Außerdem lassen die gasdicht verschweißten Brennstabrohre die Spaltprodukte nicht entweichen. Das ist die zweite Sicherheits-Barriere.

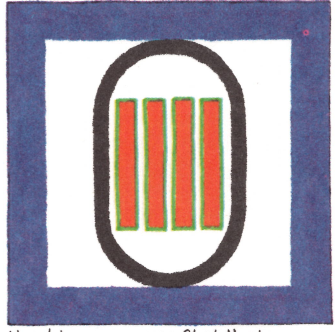
Die nächste Sicherheits-Barriere ist das Druckgefäß, das wiederum die Brennelemente umschließt. Tritt unerwartet Radioaktivität aus den Brennstäben aus, gelangt sie zwar in den Reaktorwasser-Kreislauf, doch nicht weiter. Sie kann durch das Wasser-Reinigungssystem fortlaufend wieder ausgeschieden werden.

Der Reaktor und die Wärmetauscher sind wiederum von meterdicken Betonwänden umgeben. Sie haben als vierte Barriere die Aufgabe, die Neutronenstrahlung des Reaktors abzuschirmen. Die Betonwände sind zugleich auch ein vorzüglicher Schutz gegen mechanische Einwirkungen von außen. Selbst ein auf das Kernkraftwerk stürzendes Flugzeug könnte ihnen nichts anhaben. Das Flugzeug würde bereits von der fünften und sechsten Sicherheits-Barriere aufgehalten. Diese Barrieren sind das doppelwandige Gebäude, das den gesamten Reaktorraum umschließt. Die innere Wand dieses Gebäudes ist ein kugelförmiger Stahlbehälter, die äußere ein dicker Stahlbeton-Mantel. Zwischen beiden Wänden wird die Luft ständig abgesaugt, so daß ein Unterdruck entsteht. Eventuell

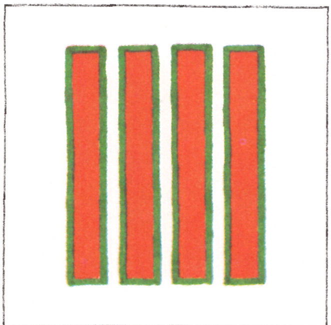
Sicherheitsbarrieren verhindern, daß die im Kernbrennstoff beim Betrieb des Reaktors entstehenden Spaltprodukte ins Freie gelangen: Barriere Nr. 1 ist der Kernbrennstoff selbst (oben links). Der weitaus größte Teil der entstehenden Spaltprodukte wird von seiner Struktur festgehalten. Barriere Nr. 2 sind die gasdicht verschweißten Hüllrohre der Brennstäbe (mitte links). Aufgrund der jahrelangen Erfahrung werden heute von den rund 50000 Brennstäben eines großen Reaktors höchstens einmal einer oder zwei im Verlauf eines Jahres undicht. Barriere Nr. 3 ist das dickwandige Reaktor-Druckgefäß (unten links), das nicht nur Wasser und Dampf, sondern auch etwa austretende Radioaktivität sicher umschließt. Barriere Nr. 4 sind die Stahlbetonwände, die die Neutronenstrahlung des Reaktors nach außen abschirmen (oben rechts), zugleich aber auch vorzüglich gegen mechanische Einwirkungen von außen schützen. Barrieren Nr. 5 und 6 sind schließlich das doppelwandige Reaktorgebäude, bestehend aus dem kugelförmigen Stahlbehälter (mitte rechts) und der Stahlbetonhülle (unten rechts).



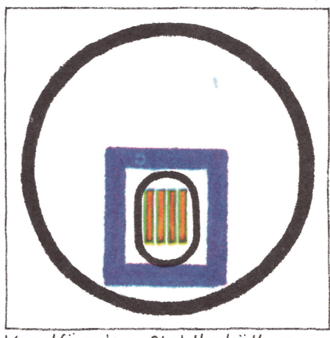
Kernbrennstoff



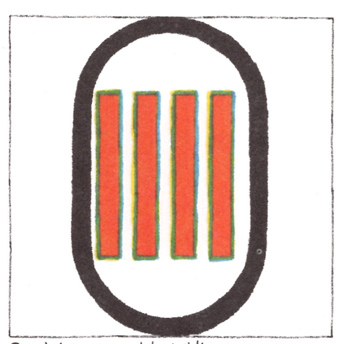
Abschirmung aus Stahlbeton



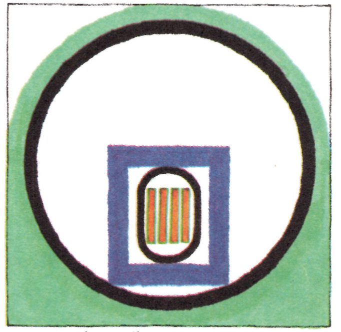
Gasdicht verschweißte Hüllrohre



Kugelförmiger Stahlbehälter



Reaktor-Druckbehälter



Stahlbetonhülle

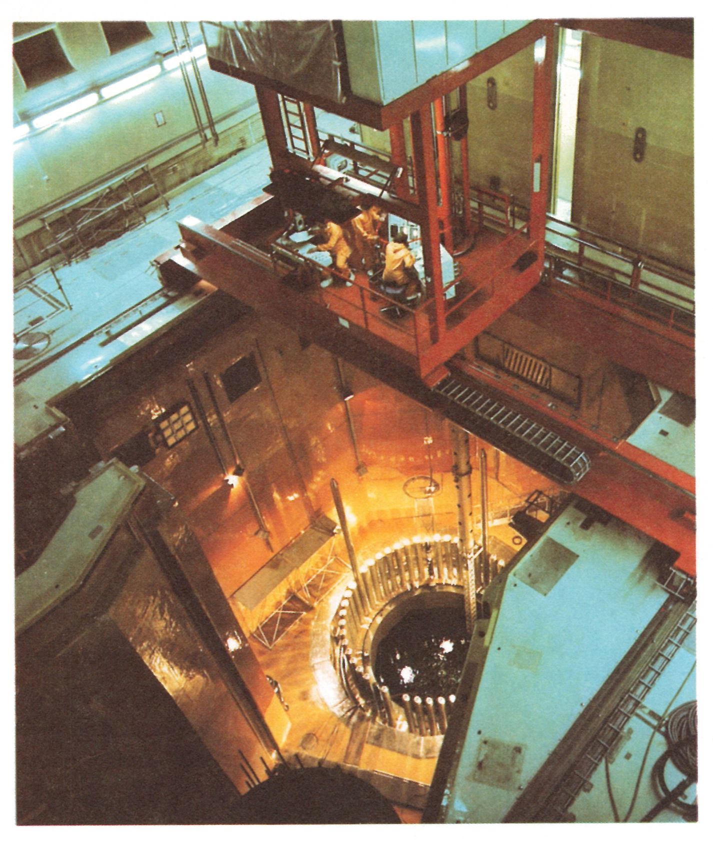
bis hierher hervorgedrungene Radioaktivität wird so daran gehindert, ins Freie zu gelangen.

Schließlich gibt es noch die inhärente Sicherheit. Man versteht darunter den physikalischen Effekt, wonach die Kernspaltungs-Kettenreaktionen unterbrochen werden, sobald die Energiefreisetzung ein gewisses Maß überschreitet. Erwärmt sich ein Reaktor stärker als vorgesehen, verschlechtern sich die physikalischen Voraussetzungen für das Zustandekommen von Kernspaltungen. Kommt es gar dazu, daß Wasser zwischen den Brennelementen verdampft, brechen die Kettenreaktionen ganz ab, weil die Neutronen nicht mehr gebremst werden.

Allerdings muß trotzdem noch ein gewisses Maß an Kühlung aufrechterhalten bleiben, weil auch dann, wenn keine Kerne mehr gespalten werden, als Folge der Radioaktivität der Spaltprodukte Wärme entsteht. Die radioaktive Strahlung wird in unmittelbarer Umgebung abgebremst, und das ist mit Erwärmung verbunden, der Entstehung von Rest-Wärme, wie der Fachmann sagt.

... und die aktiven Sicherheitsmaßnahmen

Zu diesen passiven Sicherheits-Komponenten treten noch eine ganze Reihe aktiver Sicherheitsmaßnahmen, zum Beispiel das Unterbrechen der Kettenreaktionen im Reaktor-Core durch das Einfahren der Steuerstäbe. Mit einem Knopfdruck in der Steuerwarte kann der Reaktor auf diese Weise blitzschnell abgeschaltet werden. Das geschieht aber auch automatisch, wenn aufgrund fortlaufender Messungen selbständig ar-



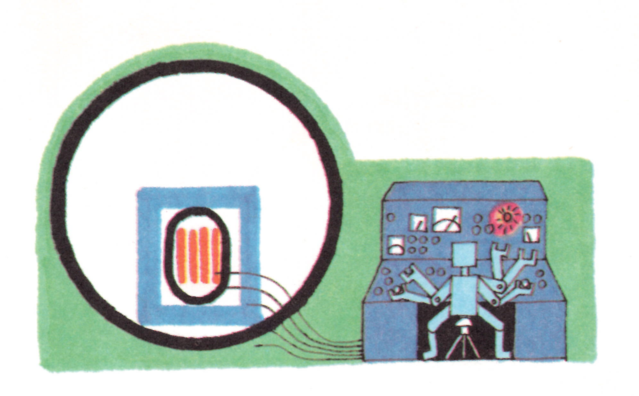
Wenn die Brennelemente nach einigen Monaten Betrieb durch die Kernspaltungen mit Spaltprodukten beladen sind, können sie nur noch vom Greifarm der Lademaschine (oben im Bild) gehandhabt werden.



Die Betriebssicherheit eines Kernkraftwerks ist nicht zuletzt durch umfangreiche staatlich überwachte Qualitätskontrollen der verwendeten Materialien und Funktionseinheiten gewährleistet. Mit aller nur denkbaren Akribie werden Werkstoffe und Schweißnähte überprüft (oben).

Zu den Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb eines Kernkraftwerks gehört ein umfangreiches, weitgehend automatisiertes Überwachungs- und Kontrollsystem. Darin sind alle wichtigen Meß- und Schalteinheiten aus Gründen der Sicherheit doppelt und dreifach vorhanden (oben rechts).

Zu den Sicherheitsmaßnahmen zählt schließlich auch, ein Kernkraftwerk so stabil zu bauen, daß es Erdstöße, den Aufprall eines Flugzeugs und Explosions-Auswirkungen so übersteht, daß keine Gefährdung für die Umwelt eintritt (unten rechts).



beitender Steuer- und Kontrollsysteme Annäherung an einen kritischen Zustand ermittelt wird. Die Abschaltung funktioniert selbst noch dann, wenn der Strom ausfallen sollte. In diesem Fall weicht das Abschaltsystem auf mechanische Vorrichtungen aus. Natürlich sind alle Sicherheits-Vorrichtungen mehrfach vorhanden.

Sollte ein Rohrleitungsbruch den Reaktorwasser-Kreislauf gefährden, tritt eine Reservekühlung in Aktion. Sie sorgt dafür, daß die Brennelemente nicht zu heiß werden. Das sind spezielle Wasserbehälter, die zum Teil unter Gasdruck stehen. Damit ist gesichert, daß sie ihr Wasser auch dann in das Reaktordruckgefäß spritzen, wenn die mit Notstromversorgung ausgestatteten Reservepumpen ausgefallen sein sollten. Die Menge des Wassers ist so bemessen, daß der gesamte Reaktorkern überflutet werden kann.

Der größte Unfall – ein Gedankenmodell

Automobilhersteller erproben die Sicherheit ihrer Fahrzeuge unter anderem mit künstlich herbeigeführten Unfällen, sogenannten Crash-Tests. Diese Methode ist für Kernkraftwerke als Ganzes undenkbar. Hier müssen sich die Sicherheitsüberlegungen auf das theoretische Durchspielen ersonnener Störfälle beschränken. Dazu gehören auch schwerste Betriebsstörungen, die sich in der Praxis noch nie irgendwo auf der Welt ereignet haben und deren Eintreffen auch äußerst unwahrscheinlich ist. Ein solches Gedankenmodell ist der GAU. Diese Abkürzung bedeutet Größter Anzunehmender Unfall. Er besteht bei Druck-

wasser- und Siedewasser-Reaktionen darin, daß eines der zum Reaktor führenden dickwandigen Druckwasser- oder Dampfrohre schlagartig abreißt. Dadurch würde das Wasser im Reaktordruckgefäß plötzlich vom normalen Betriebsdruck entlastet und sehr schnell verdampfen.

Das doppelwandige Reaktorgebäude könnte diesen inneren Druckanstieg ohne weiteres auffangen. Es wäre auch undenkbar, daß Teile des Rohrsystems mit Wucht fortgeschleudert würden und die Sicherheitshülle des Reaktorgebäudes beschädigten. Die dicke Betonabschirmung des Reaktors würde das verhindern. Die Energieerzeugung durch Kernspaltungs-Kettenreaktionen bräche in diesem Fall sofort ab, weil die Sicherheitsstäbe in Funktion träten. Dann würde sofort die Reservekühlung einsetzen und verhindern, daß sich die Brennstäbe der Brennelemente aufgrund der freigesetzten radioaktiven Rest-Wärme zu stark aufheizten und platzten. Das Notkühlsystem würde einerseits aus besonderen Behältern gespeist, zum anderen würde es das Reaktorkühlwasser benutzen, das sich unten im Reaktorgebäude sammelt. Ein spezielles Kühlsystem würde dafür sorgen, daß aus diesem Wasser die Abfallwärme nach außen abgeführt wird.

Mit anderen Worten: Dieser GAU hätte keinerlei Folgen für die Umgebung des Kernkraftwerkes. Selbst die im Kraftwerk Beschäftigten blieben ausreichend geschützt. Die Erhaltung der Brennelemente – und damit der dauerhafte Einschluß der Spaltprodukte – liegt übrigens nicht nur im Interesse des Schutzes der Umgebung und der Mitarbeiter, sondern auch sehr im Interesse des Kernkraftwerk-Betreibers. Nur dann

kann man das Kernkraftwerk nach einer gewissen Abkling-Phase verhältnismäßig leicht wieder reparieren. Schließlich ist ein Kernkraftwerk ein Milliarden-Objekt.

Zu einer Gefährdung für die Umgebung könnte es erst kommen, wenn zu dem beschriebenen Schadensablauf noch weitere höchst unwahrscheinliche Ereignisse hinzuträten. Es müßten zum Beispiel nacheinander das Reserve-Kühlsystem versagen, so daß schließlich das Kühlwasser verdampfen und die Brennelemente schmelzen würden, dann das doppelwandige äußere Reaktorgebäude, das Containment, beschädigt werden und die Abluftreinigung ausfallen. Und selbst dann würde es, wie die ersten Ergebnisse der Sicherheitsstudie in der Bundesrepublik zeigen, noch sehr von der Wetterlage und der Art und der Menge der freigesetzten radioaktiven Stoffe abhängen, ob und wieweit Menschen zu Schaden kämen. Dieser Super-Störfall, von Kernenergiegegnern auch Super-GAU genannt, ist nahezu unvorstellbar unwahrscheinlich. Das Problem bei allen Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen ist nur, daß sich im voraus nicht absehen läßt, wann ein solches Ereignis eintritt. Ebensowenig weiß man, ob es überhaupt dazu kommen kann.

Sicherheit durch Forschung

Wenn auch solche Sicherheitsüberlegungen oft noch weitgehend theoretischer Natur sind, schließt das experimentelle Sicherheitsforschung nicht aus. Zumindest können die Wirkungen einzelner Sicherheitsmaßnahmen in begrenztem Rahmen praktisch erprobt

und die daraus gewonnenen Erkenntnisse mosaikartig zusammengesetzt werden. Dazu ist in der Bundesrepublik ein umfangreiches Forschungsprogramm angelaufen. Es sieht vor, heute noch bestehende Wissenslücken über die Ursachen und den Ablauf von Störfällen zu schließen. Gleichzeitig sollen bessere vorbeugende Maßnahmen entwickelt und aufgrund neuer Erkenntnisse womöglich unnützer Sicherheitsaufwand erspart werden. Dafür werden allein 1978 an die 150 Millionen DM aufgewendet.

Einige typische Themen des Reaktor-Sicherheits-Forschungsprogramms der Bundesrepublik sind

– Experimente zur Core-Notkühlung, um im Detail zu klären, was beim Ausbleiben des Kühlmittels wirklich in einem Brennstab geschieht.

– Versuche zur Klärung der Vorgänge beim Zusammenschmelzen eines Cores als mögliche Folge des Versagens der Reservekühlung.

– Untersuchungen über die Ausbreitung von nuklearen Schadstoffen, die im Verlauf eines schweren Störfalls freigesetzt werden könnten, innerhalb und außerhalb eines Kernkraftwerkes.

Durch dieses Forschungsprogramm wird es möglich sein, den bisher noch durch konservative Sicherheitszuschläge abgedeckten Bereich durch exakte Messungen wesentlich einzuengen. Doch ein winziges Restrisiko wird uns auch dann noch bleiben. Wir werden lernen müssen, mit ihm zu leben, wie wir auch bei Öl- und Kohlekraftwerken gewisse Kompromisse mit den Idealen des Umweltschutzes eingehen müssen. Man muß das ganz realistisch sehen.



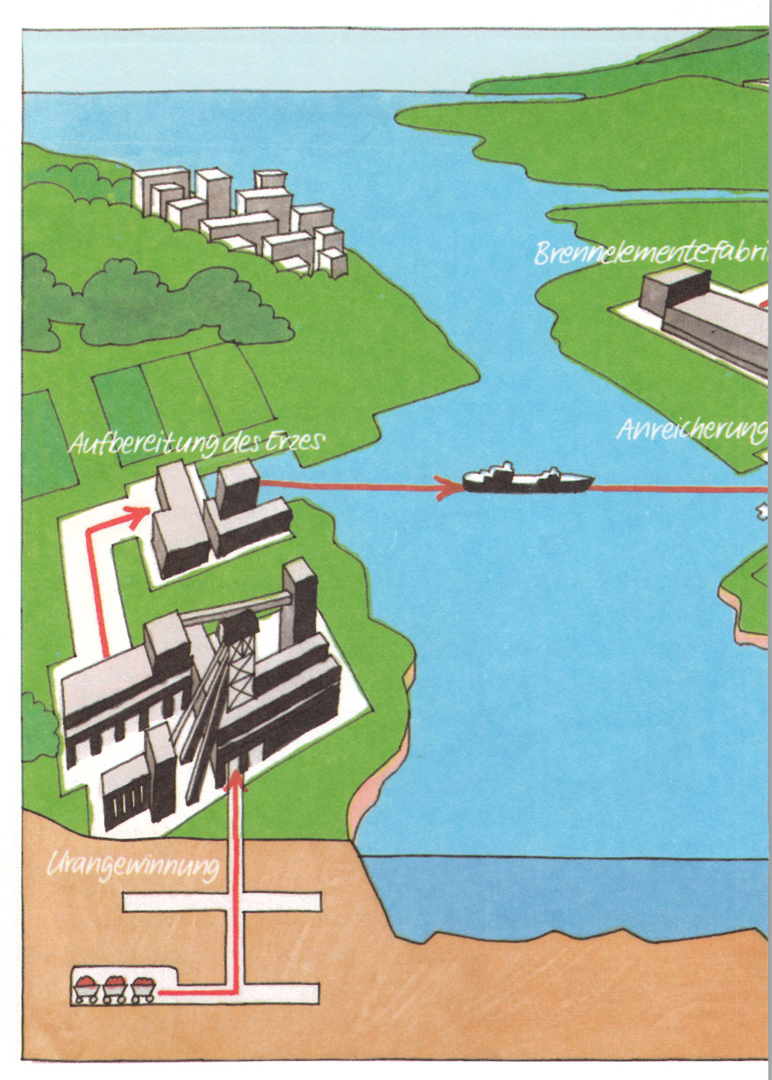
In Brennstäbe verpackt wartet das Uran auf den Einsatz im Reaktor, der wichtigsten Stufe des Brennstoff-Kreislaufs. Das Verschweißen der Brennstäbe erfolgt mit großer Sorgfalt.

Die Sache mit dem Brennstoff-Kreislauf

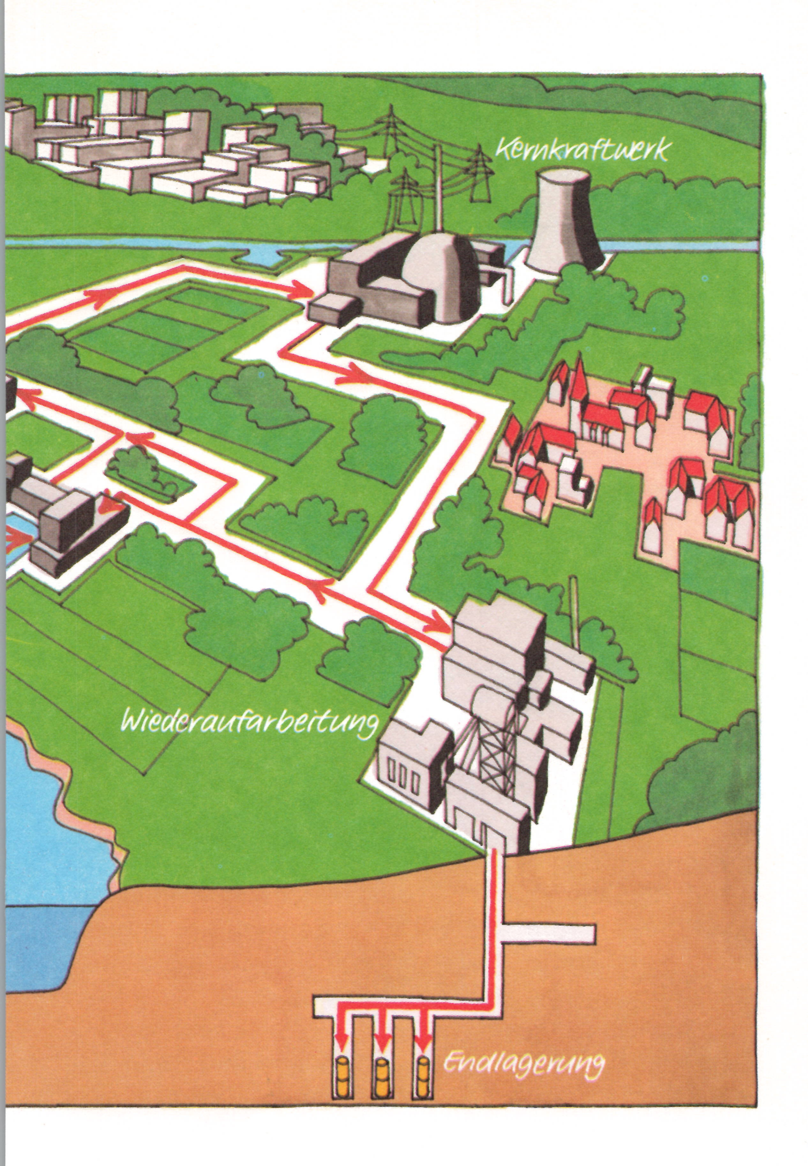
Wie Kernkraftwerke entsorgt und die Abfälle endgelagert werden

Als Otto Hahn 1938 die Spaltbarkeit von Uran-Atomkernen entdeckte, erschien das so außerhalb herkömmlicher Vorstellungen liegend, daß er es in seiner ersten Veröffentlichung nur sehr zurückhaltend andeutete. Heute hat der Gedanke, daß aus Metall – das ist Uran – Energie gewonnen werden kann, nichts Ungewöhnliches mehr. Ungewöhnlich ist nur der Aufwand, der zu diesem Zweck alles in allem betrieben werden muß.

Bei einem Kohle- oder Ölkraftwerk geht es allenfalls darum, den Brennstoff zu fördern und herbeizuschaffen. Die Verbrennungsprodukte werden mehr oder weniger an die Umwelt abgegeben. Bei einem Kernkraftwerk schließt sich jedoch an die Verwendung eines Brennstoffes im Reaktor eine aufwendige Wiederaufarbeitungsprozedur, die Entsorgung, an. Dabei werden einerseits das bei der Energieerzeugung im Kernkraftwerk nicht umgesetzte Uran sowie das zusätzlich sich bildende Plutonium zurückgewonnen, um diese Stoffe wieder zur Energiegewinnung einzusetzen. Andererseits werden die bei der Kernspaltung entstehenden Spaltprodukte, die radioaktive »Asche«, aus dem Kernbrennstoff herausgezogen, anschließend dauerhaft eingeschlossen und schließlich endgültig eingelagert. Die Kernkraftwerkstechnik verlangt ein Versorgungs- und Entsorgungssystem, wie man es bisher nicht kannte. Der Fachmann nennt das den Brennstoffkreislauf.



Der Weg des Urans von der Erzgrube über die Aufarbeitung, Anreicherung, Brennelementefabrik, Einsatz im Reaktor des Kernkraftwerks, Wiederaufarbeitung bis zur Endlagerung der Abfälle und Rückführung des noch brauchbaren Brennstoffs.


Kernkraftwerk
Wiederaufarbeitung
Endlagerung

Kohle und Öl, in einem Kraftwerk verfeuert, hinterlassen keine oder nur geringe feste Rückstände. Die Brennstoffe werden so gut wie vollständig umgesetzt. Von etwa 100 Tonnen Uran, mit denen der Reaktor eines großen Kernkraftwerks beladen wird, sind dagegen nach einer mittleren Verweilzeit von zwei bis drei Jahren noch immer etwa 96 Tonnen unverändert vorhanden. Im abgebrannten Kernbrennstoff stecken dann außerdem rund 3 Tonnen Spaltprodukte, die während der energieerzeugenden Kernspaltungs-Kettenreaktion gebildet wurden.

Außerdem ist rund 1 Tonne des nicht-spaltbaren Uran-Anteils in ein neues chemisches Element verwandelt worden, in Plutonium. Auch davon ist wiederum ein wesentlicher Teil spaltbar. Deshalb ist es wertvoll für künftige Reaktoren. Zudem muß es sowohl wegen seiner Giftigkeit als auch wegen der Mißbrauchsmöglichkeit unter Kontrolle gehalten werden. Das bedeutet praktisch, daß die Brennelemente nach dem Einsatz im Reaktor chemisch aufbereitet werden müssen. Ein ganzes Entsorgungssystem ist dafür aufzubauen.

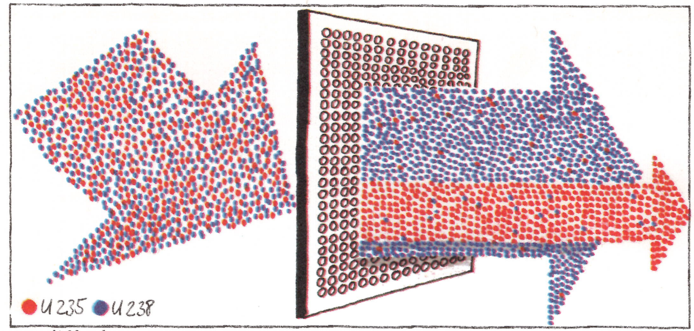
Hinzu kommt: Uran läßt sich in den heute üblichen Reaktoren nicht in der Form verwenden, wie man es in der Natur findet. Es ist weder chemisch rein genug, noch enthält es ausreichend spaltbare Anteile. Wie nahezu alle in der Natur vorhandenen chemischen Elemente besteht auch das Uran aus mehreren sogenannten Isotopen. Das sind Arten des gleichen chemischen Elements, die gleiche chemische Eigenschaf-

ten haben, doch ein unterschiedliches Atomgewicht aufweisen und sich dementsprechend auch bei Kernreaktionen unterschiedlich verhalten. Deshalb werden nach einer chemischen Reinigung des Natur-Urans in einem aufwendigen Isotopen-Trennverfahren nichtspaltbare Anteile ausgeschieden und dadurch der spaltbare Anteil von ursprünglich 0,7 auf etwa 3 Prozent erhöht. Die Isotopentrennung erfordert sehr große Anlagen und erhebliche Investitionen. Den gesamten Prozeß der Erhöhung der spaltbaren Anteile bezeichnet man in der Fachsprache als Anreicherung.

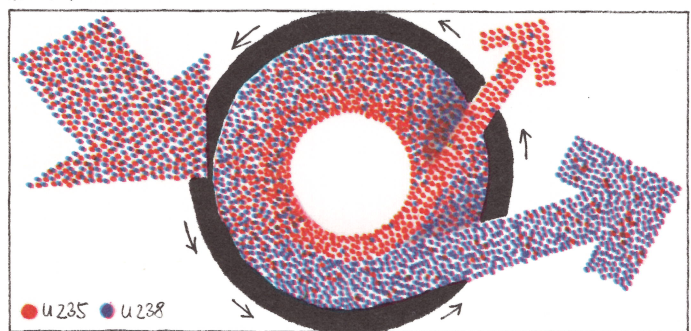
Der Weg des Urans

Am Anfang des Brennstoff-Kreislaufs steht die Uran-Gewinnung. Das in Bergwerken mit einem Uran-Gehalt von 0,1 bis 0,5 Prozent gefundene Erz wird abgebaut, gebrochen, gemahlen und dann mit Säure ausgelaugt. Durch eine Reihe chemischer Reinigungsprozesse erhält man schließlich ein Uran-Konzentrat (»yellow cake«). Zur Zeit werden auf der Welt pro Jahr 20 000 bis 25 000 Tonnen Uran abgebaut und auf dem Weltmarkt zu einem Preis von etwa 200 000 DM je Tonne angeboten. In den letzten Jahren haben die Weltmarktpreise für Uran ganz beträchtlich angezogen.

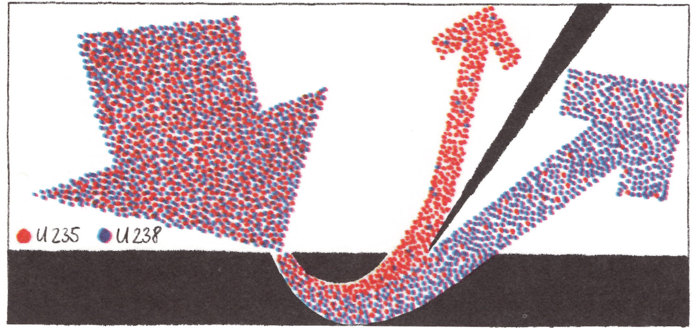
Die Preissteigerung fiel indessen nicht so ins Gewicht wie etwa die des Erdöls, weil bei den Stromerzeugungskosten eines Kraftwerks der Anteil der Brennstoffkosten erheblich geringer ist als bei den konventionellen Kraftwerken. Eine Verdoppelung der Uranerz-Preise erhöht die Stromerzeugungskosten nur um je



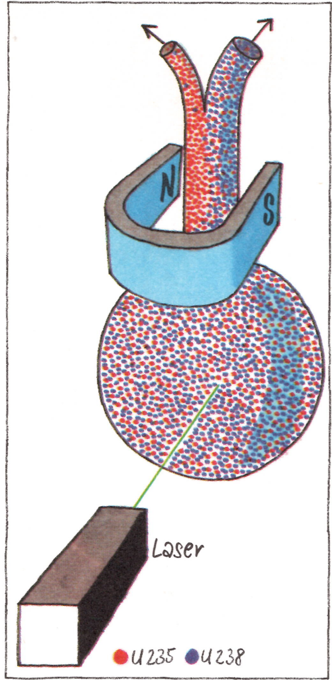
Gasdiffusion



Gaszentrifuge



Trenndüse



Photochemisches Trennverfahren mit Laser-Licht

Vier Verfahren zur Anreicherung des spaltbaren Uran-Isotops U-235 sind bekannt. Drei davon benutzen zur Trennung den geringen Massenunterschied der Uran-Isotope. Bei der Gasdiffusion (links oben) wird eine gasförmige Uranverbindung durch eine poröse Membran gedrückt. Bei der Gaszentrifuge (links Mitte) bewirkt die Rotation des Zentrifugen-Zylinders, daß sich das schwerere Isotop im rotierenden Zylinder bevorzugt nach außen drängt. Bei der Trenndüse (links unten) wirkt der gleiche Zentrifugen-Effekt, wenn das Uran-Gas durch eine gekrümmte Düse strömt. Beim fotochemischen Trennverfahren (rechts) erfolgt dagegen eine selektive Anregung eines Isotops durch Laser-Licht bestimmter Wellenlänge. Die angeregte Atomart läßt sich dann im Magnetfeld abtrennen.

0,3 Pfennig je Kilowattstunde. Eine Verdoppelung der gegenwärtigen Erdölpreise würden dagegen mit 5 Pfennig je Kilowattstunde zu Buch schlagen. Um 1 Tonne Natururan zu ersetzen, sind 10000 Tonnen Erdöl erforderlich, und die kosten rund 2 Millionen DM, also das Zehnfache des Uranpreises.

Zur weiteren Verarbeitung wird das Uran-Konzentrat in Salpetersäure aufgelöst und weiteren Reinigungsprozessen unterworfen. Der Anteil der Fremdstoffe beträgt danach nur noch einige zehntausendstel Prozent. Dann folgt die Anreicherung in einer Isotopen Trennanlage. Dabei wird das Uran-Metall in eine gasförmige chemische Verbindung überführt.

Die Anreicherung geschieht dadurch, daß man das Gas durch die Poren einer Membran diffundieren läßt. Dabei durchlaufen die leichteren Moleküle die Membran schneller als die schwereren mit dem Erfolg, daß ihr Anteil hinter der Membran relativ größer wird. Durch vielfache Wiederholung dieses Prozesses erhält man schließlich die gewünschte Anreicherung. Das Gasdiffusionsverfahren ist aber nicht mehr das einzige Isotopen-Trennverfahren, das bisher im großtechnischen Maßstab eingesetzt wird.

An einer neuen Anreicherungstechnik arbeiten zur Zeit Großbritannien, die Niederlande und die Bundesrepublik gemeinsam. Sie benutzen das Zentrifugenprinzip, bei dem schwerere Moleküle nach außen geschleudert und leichtere Moleküle im Zentrum entsprechend angereichert werden. Der Trenneffekt ist bei dieser Technik wesentlich größer, erlaubt kleinere Anlagen, geringere Investitionen und niedrigeren Energieverbrauch.

Eine dritte Anreicherungsmethode wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelt. Der Trenneffekt wird bei diesem Verfahren dadurch bewirkt, daß die Isotope unter hohem Druck und mit hoher Geschwindigkeit durch eine stark gekrümmte Düse gejagt werden. Dabei streben wiederum die schweren Moleküle stärker zur Außenwand als die leichteren. Die schwere Fraktion kann nach dem Austritt aus der Düse mit Hilfe einer in den Gasstrom gestellten Scheide abgeschält werden.

In jüngster Zeit hat eine weitere neue Anreicherungstechnik Schlagzeilen gemacht: die Anreicherung mit Hilfe von Laser-Licht. Dabei markiert das Laser-Licht die Atome eines ganz bestimmten Isotops durch eine elektrische Ladung. Diese markierten Atome lassen sich in einem anschließenden Magnetfeld aussortieren. Damit ist die gewünschte Trennung erreicht. Inwieweit die Lasertechnik im großen Maßstab genutzt werden kann, ist bisher noch eine offene Frage.

Im Reaktor und danach

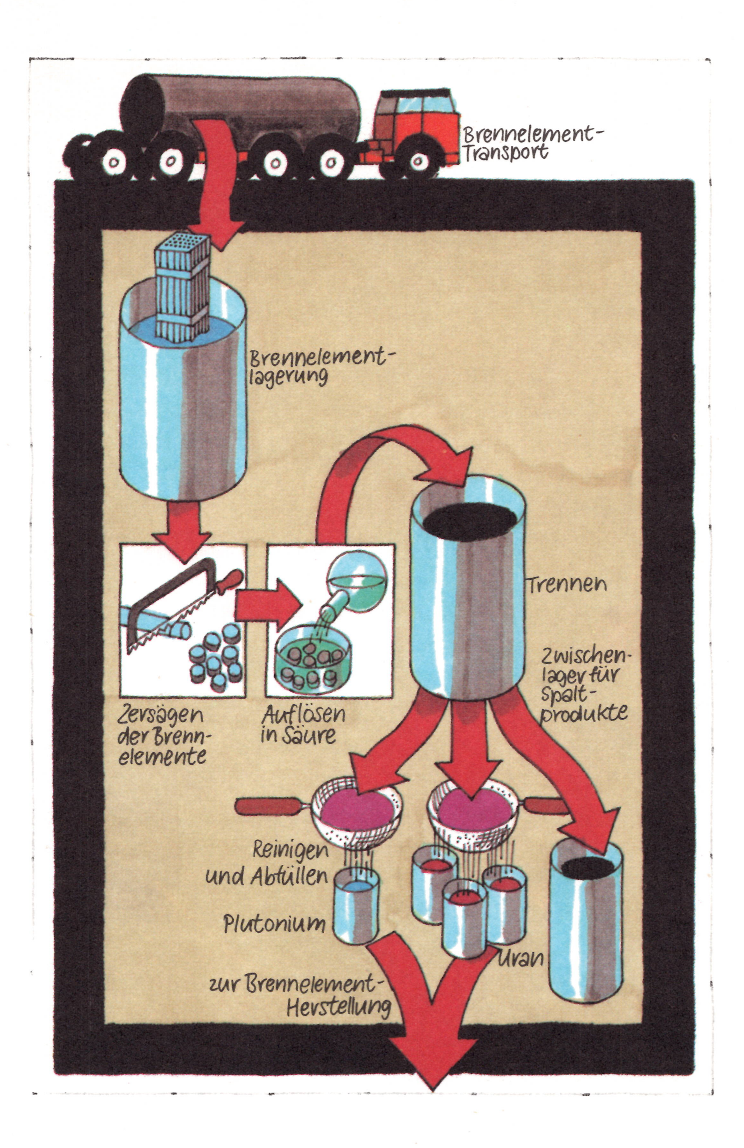
Der weitere Weg des Urans wurde schon beschrieben: Das aus der Anreicherungsanlage kommende Material wird zu Pulver verarbeitet, zu Tabletten gepreßt und anschließend gesintert. Das ist ein ähnlicher Prozeß wie das Brennen keramischer Erzeugnisse. Die Brennstoff-Tabletten haben eine entsprechende Festigkeit. Sie werden schließlich in Metallrohre gefüllt, die dann gasdicht zugeschweißt werden, um die später auftretenden gasförmigen Spaltprodukte zuverlässig einzuschließen. Eine größere Zahl solcher Brennstäbe

montiert man zu Brennelementen zusammen. In dieser Form kommt das Uran in den Reaktor.

Von den rund 100 Tonnen Uran, die ein Reaktor-Core bilden, müssen etwa 35 Tonnen einmal im Jahr ausgetauscht werden, erstens, weil der spaltbare Anteil verbraucht ist, und zweitens, weil die zunehmende Menge der Spaltprodukte zu viele Neutronen einfängt und damit die Kernspaltung behindert.

Nach dem Auswechseln kommen die verbrauchten Brennelemente zunächst für etwa 150 Tage in das wassergefüllte Absetzbecken neben dem Reaktor. Hier warten sie den Zerfall der kurzlebigen Spaltprodukte und die damit verbundene Wärmeentwicklung ab. Die Aktivität der Elemente verringert sich während dieser Zeit auf etwa ein Hundertstel des ursprünglichen Werts. Dann transportiert man die verbrauchten Brennelemente in speziellen Transportbehältern zur Wiederaufarbeitungsanlage. Um auch bei schwersten Verkehrsunfällen die sichere Einschließung eines Brennelements zu gewährleisten, sind die Transportbehälter so konstruiert, daß sie auch dann noch dicht bleiben, wenn sie aus 9 Metern Höhe auf einen mit einer Stahlplatte armierten Betonboden fallen. Sie halten danach noch eine halbe Stunde lang 800 Grad Hitze aus und bleiben dicht.

Zerhackt und chemisch aufgelöst werden die verbrauchten Brennelemente in der Aufarbeitungsanlage. Nach einem Trenn- und Reinigungsprozeß erhält man als neuen Spaltstoff Plutonium, das nicht verbrauchte Uran sowie die Spaltprodukte, deren Aktivität in einem Zwischenlager weiter abklingt. Wegen ihrer Radioaktivität muß die Wiederaufarbeitung weitgehend fernbedient, hinter dicken Betonmauern und Bleiglasfenstern, erfolgen.


Brennelement-
Transport
Brennelement-
lagerung
Trennen
Zwischen-
lager für
Spalt-
produkte
Zersägen
der Brenn-
elemente
Auflösen
in Säure
Reinigen
und Abfüllen
Plutonium
Uran
zur Brennelement-
Herstellung

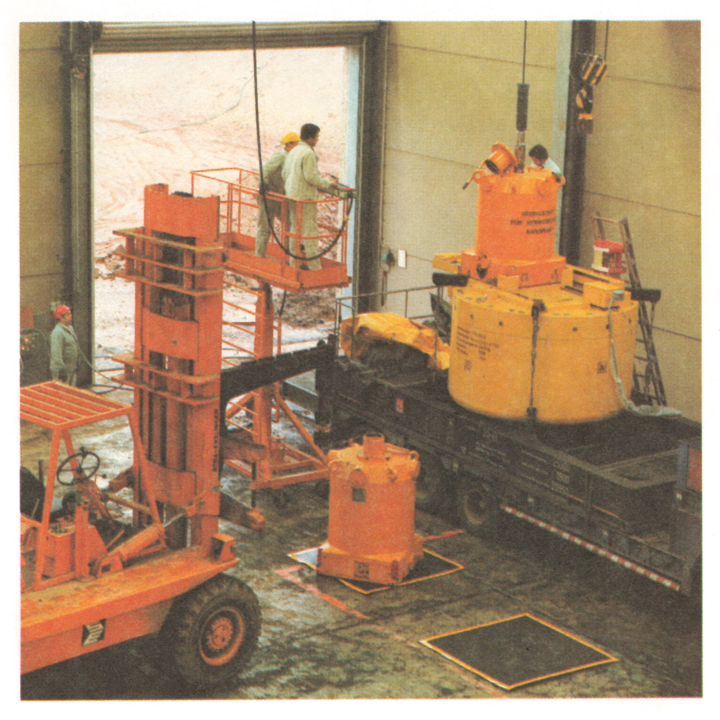
In der Wiederaufarbeitungsanlage zerhackt eine Art Reißwolf die Brennelemente, bevor sie in Salpetersäure aufgelöst werden. Es folgen chemische Reinigungsprozesse, ähnlich denen bei der Aufarbeitung des Uranerzes. Da die Spaltprodukte radioaktiv sind, vollziehen sich diese chemischen Verfahren hinter dicken Betonwänden und Bleiglasfenstern vollautomatisch und per Fernbedienung. Am Ende erhält man drei Produkte:

- das unverbrauchte Uran,
- das nebenbei erzeugte Plutonium sowie
- die Spaltprodukte, um die es bei der Wiederaufarbeitung vor allem geht.

Das wiedergewonnene Uran entspricht in seiner Qualität etwa dem auf dem Weltmarkt angebotenen Natururan. Man kann es dort heute billiger kaufen als es durch ein so aufwendiges Verfahren zurückzugewinnen. Von dort her betrachtet, lohnt sich die Wiederaufarbeitung noch nicht, und in den USA überlegt man sich ja in der Tat, darauf zu verzichten. Aus europäischer Sicht erscheint dieser Standpunkt unverantwortlich, einmal, weil so wertvolles Uran vergeudet wird, zum anderen, weil nur so eine zuverlässige Endlagerung – und damit Beseitigung – der Spaltprodukte zu erreichen ist.

Das anfallende Plutonium wird gelagert, um später damit auch die Brüter-Kernkraftwerke auszustatten. Zunächst aber wird die Wiederverwendung in herkömmlichen Kern-Reaktoren große Bedeutung erlangen, weil sich dadurch die aufwendige Anreicherung zum Teil sparen läßt.

Die anfallende Spaltproduktlösung wird konzen-



Für den Transport der radioaktiven Abfälle zur Endlagerstätte wurde ein System entwickelt, das den Schutz der Umwelt gewährleistet. Die mit schwach- und mittelaktiven Abfällen gefüllten Fässer – sie befinden sich hier in dem Abschirmbehälter auf dem Tieflader – werden in Einzelbehältern zur sogenannten Beschickungskammer des ehemaligen Salzbergwerks Asse transportiert. Seit 1967 wird dort die Endlagerung schwach- und mittelaktiven Abfalls praktiziert.

triert, dann weiter zwischengelagert, um die Aktivität noch weiter abklingen zu lassen, und schließlich verfestigt, um sie endgültig zu lagern. Dazu bietet sich an, das Spaltproduktkonzentrat in Borsilikatglas einzuschmelzen. Eine entsprechende Versuchsanlage arbeitet bereits im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Die Glaskörper werden in Edelstahlbehälter eingeschweißt und in Salzlagerstätten tief unter die Erde gebracht. Aufgrund der seitherigen Versuche ist zu erwarten, daß sich auf diese Weise ihre jahrtausendelange sichere Trennung vom Stoffkreislauf der Erde erreichen läßt. Da Salz ein guter Wärmeleiter ist, kann es die von den Spaltprodukten in den Glaskörpern freigesetzte Zerfallswärme aufnehmen und ohne Notwendigkeit einer Kühlung ableiten. Später kann man die Stollen des Bergwerksgeländes mit Salz auffüllen und das Abfallager vergessen. Eine jahrhundertelange Bewachung ist nicht notwendig.

Die offenen Probleme

Ansatzpunkte zur Kritik an der kerntechnischen Entwicklung finden sich heute noch am ehesten im Brennstoffkreislauf. Zwar sind die kritischen Punkte nicht gravierend, aber die Entwicklung auf diesem Gebiet erlaubt es noch nicht, bereits von einem voll erprobten System zu sprechen. Für die Entwicklung einzelner Kreislaufstufen bestand bisher noch zu wenig Bedarf.

So haben die USA zum Teil immer noch ein Monopol auf dem Gebiet der Brennstoffanreicherung. Es stammt aus der Zeit der forcierten Herstellung von Kernwaffen. Doch schon tritt die Sowjetunion als

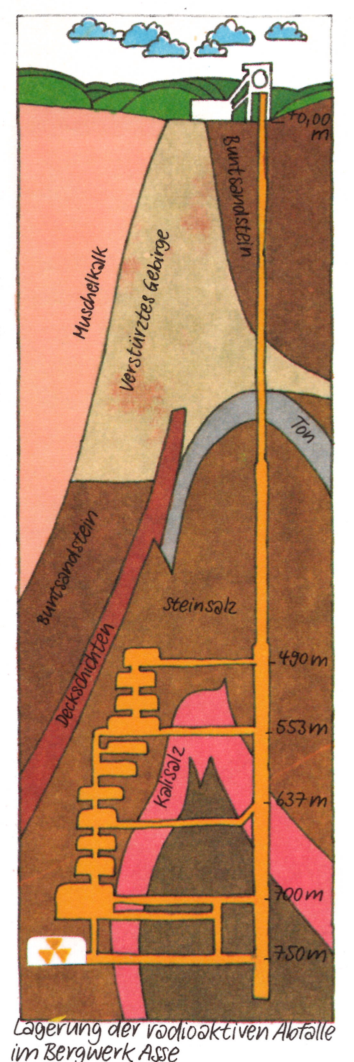


Der in Fässer verpackte, schwachaktive Abfall darf ohne zusätzliche Strahlenschutzvorkehrungen in der Endlagerungskammer des Salzstocks Asse deponiert werden. Nachdem eine Kammer gefüllt ist, wird ihr Zugang zubetoniert.

Konkurrent auf. Außerdem werden die europäischen Gaszentrifugen-Anlagen bald einen wesentlichen Teil des Anreicherungsbedarfs in Europa decken können. Daneben baut eine zweite Gruppe europäischer Länder unter französischer Führung eine leistungsfähige europäische Gasdiffusionsanlage. Die Uranerz-Förderländer Afrikas und Australien wollen in Zukunft ebenfalls selbst anreichern. Die Entwicklung eines internationalen kommerziellen Anreicherungsmarktes ist nur eine Frage der Zeit.

Das gleiche gilt für den derzeit gestörten Uranerzmarkt. Der durch die Atomwaffen-Produktion zunächst künstlich in die Höhe getriebenen Förderung folgte bis Anfang der siebziger Jahre eine Phase der Stagnation mit erheblicher Überproduktion und einem Preisverfall. Zur Zeit steigt der Uran-Bedarf wieder stark an. Die vom Öl abhängigen Industrieländer konzentrieren sich auf die Kernkraftwerksentwicklung, so daß der Uran-Markt im Augenblick überfordert ist. Die Bundesrepublik hat sich durch langfristige Lieferverträge und unmittelbare Beteiligungen an der Prospektierung und dem Abbau von Uranerz-Lagerstätten in Kanada, in der Republik Niger und neuerdings in Brasilien jedoch so abgesichert, daß der weiteren Entwicklung des Uran-Marktes beruhigt entgegengesehen werden kann.

Für die Wiederaufarbeitung sei in Europa für die nächsten Jahre kein unmittelbarer Engpaß zu befürchten. Sowohl in Frankreich als auch in Großbritannien gebe es große, bisher nicht voll ausgelastete Anlagen. – So hieß es noch in der ersten Auflage dieses Buchs vor zwei Jahren. Unterdessen ist die Entsorgung



Lagerung der radioaktiven Abfälle im Bergwerk Asse

Ein gewaltiger Steinsalz-Pfropfen ist in der Nähe von Wolfenbüttel durch ein Stollensystem zur Endlagerung radioaktiver Abfälle erschlossen worden. In 750 Meter Tiefe lagern bereits etwa 80000 Fässer mit schwachaktivem Abfall. Ähnlich sollen die Glaszylinder mit den hochaktiven Spaltprodukten aus dem deutschen Wiederaufarbeitungszentrum in einem Salzpfropf unter dem Zentrum in Gorleben endgültig gelagert werden.

der Kernkraftwerke zum zentralen Thema der Kernenergiediskussion geworden. Die Errichtung einer eigenen großen Wiederaufarbeitungsanlage, ja eines ganzen Entsorgungszentrums, hat in der Bundesrepublik höchste Priorität erhalten.

Es gibt dafür eine Reihe von Gründen. So mußte die britische Wiederaufarbeitungsanlage in Windscale, die jahrelang die Hauptlast der Wiederaufarbeitung in Europa trug, nach einem schweren Störfall geschlossen werden. Mit Ersatz ist in England vor 1983 nicht zu rechnen. Der Umbau der französischen Anlage in La Hagne geht langsamer voran als ursprünglich vorgesehen. In den USA, wo die Wiederaufarbeitung zunächst zu sehr unter kommerziellen Gesichtspunkten betrieben worden war, gab es bei der Inbetriebnahme einer neuen Anlage in Barnwell erhebliche Schwierigkeiten mit den Genehmigungsbehörden.

Es lag nahe, daß dies in Zeiten steigender Kernenergiekritik die breite Öffentlichkeit hellhörig machen mußte und zu der Forderung führte: Neue Kernkraftwerke sollten erst genehmigt werden, wenn die Aufarbeitung ihrer verbrauchten Brennelemente gesichert sei. Genauso lag es nahe, die Wiederaufarbeitung zum Angelpunkt des Widerstandes gegen die Kernenergie schlechthin zu machen. Würde es gelingen, den Bau einer Wiederaufarbeitungsanlage zu verhindern, müßten bald alle Kernkraftwerke geschlossen werden.

Das geplante Entsorgungszentrum

Unterdessen laufen die Projektierungsarbeiten für die Errichtung des deutschen Entsorgungszentrums

auf vollen Touren, und die zentralen sachverständigen Gremien in Fragen der nuklearen Sicherheit in der Bundesrepublik, die Reaktorsicherheitskommission und die Strahlenschutzkommission, haben im Zuge des Genehmigungsverfahrens in einer offiziellen Stellungnahme erklärt, daß das geplante Entsorgungszentrum »grundsätzlich sicherheitstechnisch realisierbar« sei. Als Standort ist das Dorf Gorleben in Niedersachsens östlichstem Zipfel unweit der Elbe und der Grenze zur DDR vorgesehen.

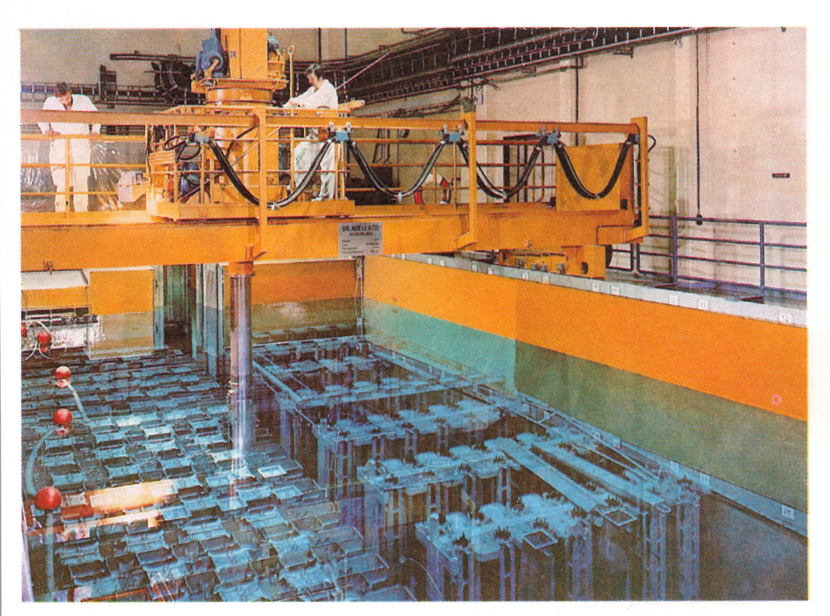
Auf einem Areal von 3 Kilometer Breite und 4 Kilometer Länge sollen eine Wiederaufarbeitungsanlage nach modernen Sicherheitsanforderungen mit einem leistungsfähigen Zwischenlager für verbrauchte Reaktor-Brennelemente, eine Anlage zur Verfestigung des anfallenden Atommülls mit anschließender Endlagerung des verfestigten Mülls an Ort und Stelle in einen Salzstock tief unter dem Entsorgungszentrum errichtet werden. Auch eine Fabrik zur Verarbeitung des bei der Wiederaufarbeitung gewonnenen Plutoniums zu neuen Brennelementen soll in das Zentrum mit einbezogen werden.

Man erreicht durch dieses integrierte Konzept eine wesentliche Verringerung der Umgebungsgefährdung, weil der Transport konzentrierter Spaltprodukte über öffentliche Straßen und Eisenbahnlinien entfällt. Das Herumfahren von Radioaktivität bleibt praktisch auf den Antransport der verbrauchten Brennelemente beschränkt. Auch bleibt das Plutonium, solange es frei vorliegt, innerhalb eines überwachten Areals, so daß sich Diebstahl und mißbräuchliche Verwendung mit großer Sicherheit ausschließen lassen.

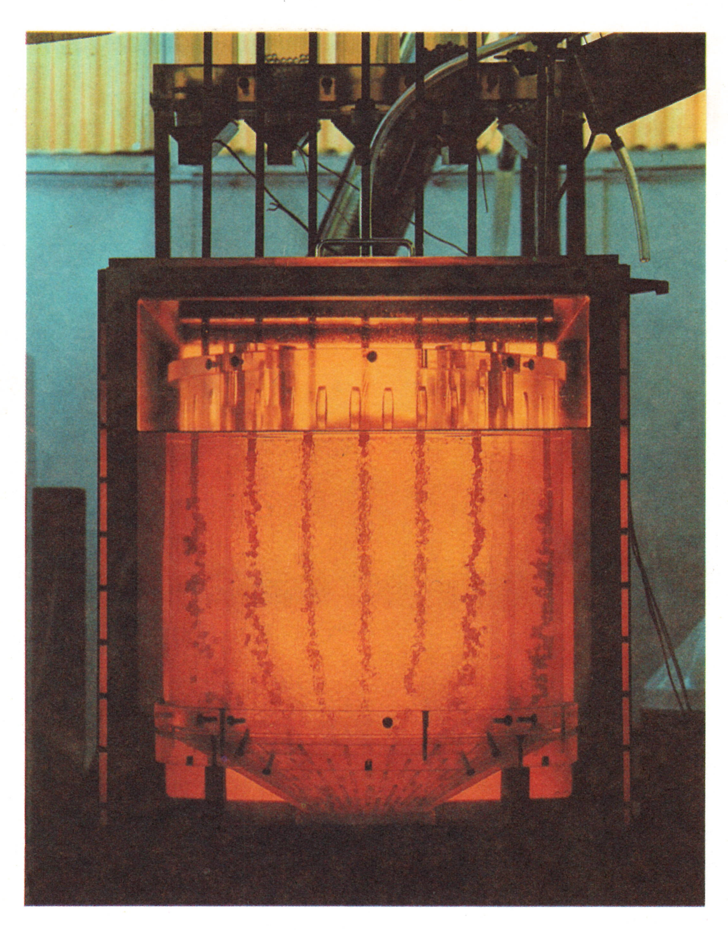
Es sollen hier pro Jahr 1500 Tonnen Uran aufgearbeitet werden. Die Errichtung des Zentrums wird nach heutiger Schätzung 4 Milliarden DM kosten, und es sollen hier einmal an die 3600 Menschen arbeiten. Als Träger haben die Energieerzeugungsunternehmen die »Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen« (DWK) in Hannover gegründet. Weder für den Bau noch für den Betrieb des Entsorgungszentrums sind staatliche Zuschüsse vorgesehen. Die Kosten für die Wiederaufarbeitung werden über den Strompreis aufgebracht, ohne daß die Kernenergienutzung dadurch viel an ihrer wirtschaftlichen Attraktivität einbüßen würde.

Die Einlagerung radioaktiver Abfälle in Salzstöcken wurde bisher nur für schwach aktive und mittelaktive Abfälle praktiziert. In der Bundesrepublik ist dazu das in der Nähe von Wolfenbüttel gelegene ehemalige Salzbergwerk Asse II hergerichtet worden. Die Abfälle, die alle nicht gekühlt werden müssen, wurden in Stahlblechfässer von 200 Liter Inhalt verpackt.

Hochaktive Abfälle – die konzentrierten Spaltproduktlösungen – sind bisher noch nicht in größerem Umfang angefallen. Sie werden vorerst flüssig in Tanks gelagert und nur versuchsweise in zunächst kleinen Mengen in Glas oder keramisches Material eingeschmolzen. Ein Forschungsprogramm hat weitgehend die noch offenstehenden Fragen geklärt, zum Beispiel die, wie der Salzstock die Zerfallswärme aufnehmen wird oder wie sich die Abfälle verhalten, wenn – so unwahrscheinlich es auch ist – Wasser in den Salzstock einbrechen sollte.



Im Lagerbecken hängen die Brennelemente senkrecht in Gestellen und sind von einer mehrere Meter dicken Wasserschicht überdeckt. So bleiben sie für den Transport sichtbar und sind doch gut abgeschirmt. Das Bild zeigt das Brennelement-Lagerbecken in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe.



Unter den anderen, für die Kernenergieerzeugung geeigneten Reaktor-Typen erscheint der Hochtemperaturreaktor mit kugelförmigen Brennelementen als besonders vielversprechend. Das Bild zeigt ein Glaskugel-Modell in der Kernforschungsanlage Jülich, an dem seinerzeit studiert wurde, wie in einem Kugelhaufen nach und nach die Kugeln zur unteren zentralen Abzugsöffnung gelangen.

So wird die Entwicklung weitergehen

Andere Kernreaktor-Typen und andere Energiequellen

Gleich nach dem Zweiten Weltkrieg dachte man in den USA weniger an die heute so erfolgreichen Druckwasser- und Siedewasser-Reaktoren, sondern zunächst an Brutreaktoren. Der Grund dafür waren die damals immensen Kosten für die Anreicherung von Uran.

So war das erste kleine experimentelle amerikanische Kernkraftwerk mit einem Brutreaktor ausgerüstet. Es wurde 1951 auf einem Versuchsgelände der amerikanischen Atomenergiebehörde in der Wüste von Idaho gebaut. Mit einer elektrischen Leistung von 200 Kilowatt erzeugte es zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit aus Kernenergie Elektrizität. Ein Pionier jener Tage, Alvin Weinberg, sagte dazu vor einiger Zeit bei einem Vortrag in der Schweiz: »Es mag vielleicht heute erstaunen, aber gerade der Einsatz von Brutreaktoren – und ich meine dabei die sogenannten Schnellen Brüter – war in jenen Tagen eines der Hauptziele. Im Prinzip gilt diese Hoffnung heute noch.«

In der Tat werden wir uns mit den Siedewasser- und Druckwasser-Reaktoren auf die Dauer allein nicht zufriedengeben können. Es erscheint widersinnig, von 500 Tonnen Natur-Uran regelmäßig 400 Tonnen fortzuwerfen, um eine Brennelement-Ladung von 100 Tonnen mit ausreichender Spaltstoffanreicherung zu erhalten. Eines Tages wird man den heute praktisch wertlosen Urananteil nutzen, nämlich dadurch, daß

man daraus spaltbares Plutonium erbrütet. Der Zwang, Schnellbrüter-Kernkraftwerke zu entwickeln, wird heute dennoch angesichts der damit verbundenen technischen Schwierigkeiten weniger als große Verlockung, sondern vielmehr als Bürde empfunden. Trotzdem wird dieser Weg gegangen werden müssen, wenn die Kernkraftwerksentwicklung am Ende nicht eine kurzfristige Lösung unserer Energieprobleme sein soll.

Noch eine zweite Ergänzung der heutigen Kernkraftwerks-Baulinien ist möglich: die durch den Hochtemperaturreaktor. Dieser Reaktortyp erlaubt es, ein zweites chemisches Element zur Kernenergieerzeugung heranzuziehen, das Thorium. Es ist wie das Uran ein Schwermetall, das auf der Erde sogar häufiger als Uran vorkommt und leichter zu gewinnen ist. Thorium enthält von Haus aus zwar kein spaltbares Isotop, doch es läßt sich durch einen Brutprozeß im Reaktor in ein spaltbares Uran-Isotop umwandeln, das in der Natur nicht vorkommt. – Hochtemperaturreaktoren werden auch als Wärmequelle für chemische Produktionsprozesse gebraucht.

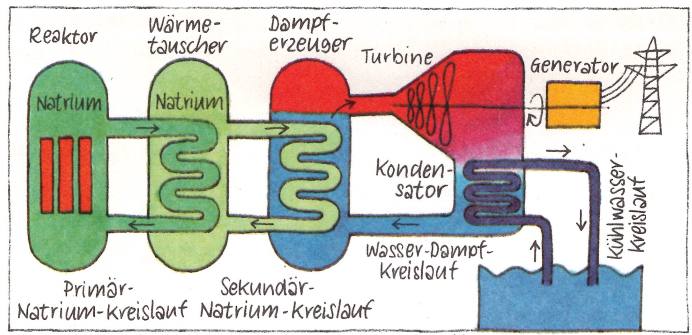
Zur künftigen Entwicklung gehört auch der Fusions-Reaktor. Die technologischen Schwierigkeiten, die er bereitet, werden allerdings noch größer sein als beim Brutreaktor. Doch dafür könnte er ein billiges und praktisch unerschöpfliches Energiepotential nutzen: die Weltmeere, beziehungsweise den darin enthaltenen schweren Wasserstoff.

Was den Schnellen Brüter unterscheidet

Das Core eines Brutreaktors unterscheidet sich von dem herkömmlicher Reaktoren vor allem durch eine höhere Energiekonzentration. Seinen Namen hat er daher, daß für eine bestimmte Menge gespaltener Uran-Atome eine zumindest gleichgroße, möglichst aber noch etwas größere Menge Plutonium-Atome »erbrütet« wird, und das mit nicht abgebremsten, also »schnellen« Neutronen.

Im gleichen Core-Volumen erzeugt der Schnelle Brüter rund fünfmal mehr Wärme als ein herkömmlicher Reaktor. Für den Wärmeabtransport – die Kühlung des Cores – nimmt man darum flüssiges Natrium, ein Metall mit großer Wärmekapazität und damit großem Wärmetransportvermögen. Außerdem siedet Natrium erst bei fast 980 Grad Celsius. Der Reaktorkreislauf braucht daher nicht wie bei den Wasser-Reaktoren unter Druck gehalten zu werden.

Andererseits wird Natriummetall bei 97 Grad Celsius fest. Bei einem Reaktorstillstand darf deshalb der Kühlkreislauf nicht »einfrieren«. Weil Natrium zudem die Eigenschaft hat, im Neutronenstrom des Reaktors radioaktiv zu werden, kann es nach dem Austritt aus dem Core nicht unmittelbar in den Wärmetauscher geschickt werden, in dem der Turbinendampf erzeugt wird. Vielmehr muß ein weiterer Natriumkühlkreislauf dazwischengeschaltet sein. Das radioaktive Natrium aus dem Reaktor gibt dann seine Wärme zunächst in einem Wärmetauscher an diesen zweiten, nicht radioaktiven Kreislauf ab, der dann seinerseits in einem zweiten Wärmetauscher den Dampf erzeugt.



Kernkraftwerk mit schnellem natriumgekühlten Brutreaktor

Gegenüber einem Kernkraftwerk mit Siedewasser- oder Druckwasser-Reaktor ist das Brüter-Kernkraftwerk technisch aufwendiger, nicht zuletzt, weil zwei Natrium-Kreisläufe vorgesehen werden müssen. Andererseits tritt eine erhebliche technische Vereinfachung dadurch ein, daß die beiden Natrium-Kreisläufe nur unter sehr geringem Druck stehen.

Nicht unproblematisch ist einstweilen auch noch die hohe Materialbelastung im Schnellen Brüter als Folge seiner großen Leistungsdichte, des intensiven Stroms schneller Neutronen. Schließlich kann bei diesem Reaktortyp nicht mit hundertprozentiger Sicherheit eine begrenzte nukleare Energiefreisetzung ausgeschlossen werden. Das Reaktorgefäß wird daher so ausgelegt, daß es die hierbei auftretenden Kräfte sicher aufnehmen kann.

Technische Realisierbarkeit außer Frage

Aus all diesen Gründen ist die Entwicklung des Schnellen Brüters mühevoll. Im Laufe der letzten 25 Jahre ist ungewöhnlich viel Energie und Geld dafür aufgewendet worden. Heute steht die technische Realisierbarkeit großer Natriumbrüter-Kernkraftwerke nicht mehr in Frage. Der kommerzielle Einsatz von Brütern wird in Frankreich und England noch für die achtziger Jahre, in Deutschland, den USA und Japan für die neunziger Jahre vorausgesagt. Jedes dieser Länder sowie die UdSSR hat sein eigenes umfangreiches Schnellbrüter-Programm mit Prototypen von 250 bis 350 Megawatt elektrischer Leistung. Für große Anlagen von über 1000 Megawatt bahnt sich in Europa eine enge multinationale Gemeinschaftsentwicklung an.

In der Bundesrepublik war die Brüterentwicklung lange Zeit das zentrale Thema des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Der Schwerpunkt des deutschen Schnellbrüter-Programms ist jetzt die Errichtung des Kernkraftwerks Kalkar am Niederrhein. Es soll ein



Seit April 1973 wird am Niederrhein bei Kalkar ein Brüter-Prototyp-Kernkraftwerk von 300 Megawatt elektrischer Leistung gebaut. Daran sind neben der Bundesrepublik auch Holland und Belgien beteiligt. In Frankreich und Großbritannien, in der Sowjetunion und in Japan gibt es ähnliche Brüter-Projekte, die zum Teil schon weiter vorangeschritten sind.

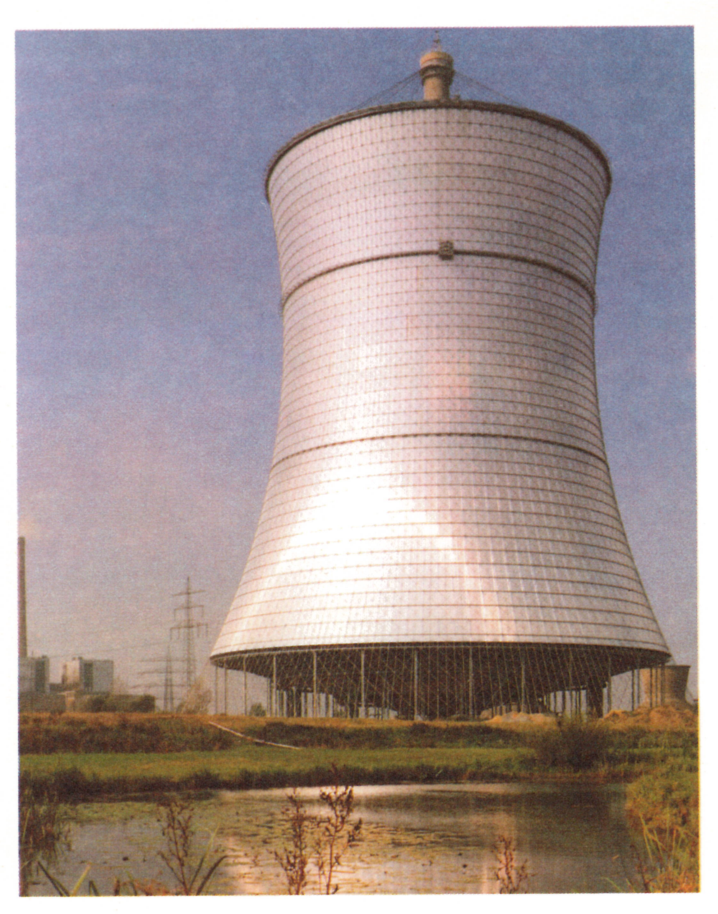
Prototyp-Kernkraftwerk mit 300 Megawatt elektrischer Leistung werden. An seinem Bau sind neben der Bundesrepublik auch Holland und Belgien beteiligt. Die erste Teilerrichtungsgenehmigung datiert von Ende 1972, die Bauarbeiten begannen im April 1973. Anfang 1980 soll die Anlage in Betrieb gehen.

Der Grund für die lange Dauer des Genehmigungsverfahren ist in dem hohen Sicherheitsmaßstab zu sehen, der an Kalkar trotz Prototyp-Charakter angelegt wird.

Hochtemperaturreaktor – auch für Prozeßwärme

Etwa 120 Kilometer östlich von Kalkar, in der Gemarkung Uentrop-Schmehausen bei Hamm, entsteht zur Zeit ein zweites Prototyp-Kernkraftwerk von 300 Megawatt elektrischer Leistung. Es wird mit einem gasgekühlten Hochtemperaturreaktor ausgestattet und einem aus Graphitkugeln bestehenden Core. Auch hier wollte man ursprünglich schneller vorankommen. Man hoffte nach dem Baubeginn im Mai 1971 auf eine Inbetriebnahme für 1977. Doch die Abwicklung des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens erwies sich, ähnlich wie in Kalkar, als besonders schwierig. Es fehlen ebenfalls aus Erfahrung gewonnene allgemeingültige Regeln. Die sicherheitstechnischen Anforderungen an das Kernkraftwerk wurden daher nach Baubeginn nachträglich erheblich erhöht.

Das Spezifische am Hochtemperatur-Reaktortyp ist, wie der Name andeutet, sein hohes Temperaturniveau. Siedewasser- und Druckwasser-Reaktoren arbeiten mit 295 bis 325 Grad Celsius, Brüter kommen



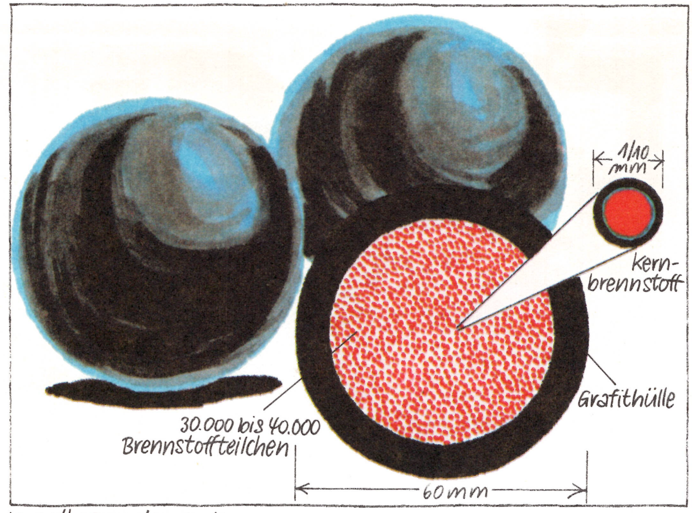
In unmittelbarer Nachbarschaft eines Kohle-Kraftwerks (am linken Bildrand) wird bei Uentrop-Schmehausen ein Hochtemperatur-Prototyp-Kernkraftwerk von 300 Megawatt elektrischer Leistung errichtet. Eine Besonderheit ist dabei der Trockenkühlturm – unser Bild – in Art einer Seilnetz-Konstruktion nach dem Prinzip des Münchener Olympia-Zeltdachs. Sie hängt an einem 178 Meter hohen Pfeiler aus Stahlbeton.

auf etwa 550 Grad, Hochtemperaturreaktoren können dagegen 800 Grad und mehr erreichen. Der Reaktor besteht nicht wie üblich innen aus Metall, sondern aus Graphit, einem der temperaturbeständigsten Werkstoffe überhaupt. Die Brennelemente sind Graphitkugeln oder Graphitblöcke. Die in ihnen enthaltenen Brennstoffpartikel – Urandioxyd und Thoriumdioxyd – messen weniger als einen halben Millimeter im Durchmesser und sind von übereinanderliegenden Kohlenstoffschichten unterschiedlicher Festigkeit so dicht umschlossen, daß keine gasförmigen Spaltprodukte austreten können.

Durch die Graphitstruktur des Reaktors strömt Heliumgas. Es führt die im Core erzeugte Wärme ab. Anschließend strömt das Helium durch Wärmetauscher, die in die Wände des Reaktor-Betonbehälters mit einbezogen sind. Hier wird der für die Turbinen benötigte Dampf erzeugt.

Eine weiterführende Entwicklungsrichtung des Hochtemperaturreaktors beläßt es nicht beim herkömmlichen Dampf und nutzt die darüberliegende Temperaturspanne, also etwa den Bereich zwischen 700 bis 950 Grad Celsius, als nukleare Prozeßwärme für die Industrie, zum Beispiel zur Eisenerz-Verhüttung oder zur synthetischen Treibstoffgewinnung.

Im wesentlichen zielen die Projekte zur Nutzung nuklearer Prozeßwärme darauf ab, hochwertige Synthesegase wie Wasserstoff oder Kohlenmonoxyd zu erzeugen. Solche Gase können auch zur Fernheizung eingesetzt werden.

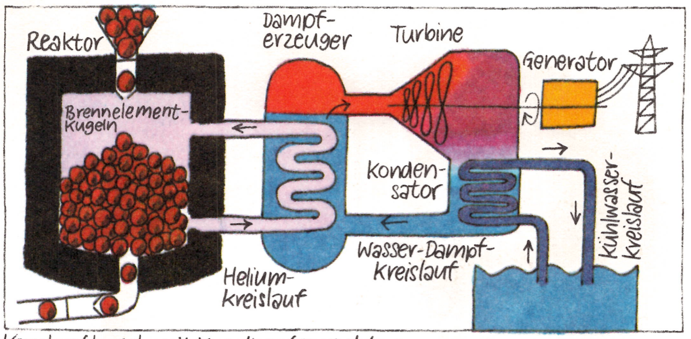


Kugelbrennelement

Der Kernbrennstoff besteht bei den Hochtemperatur-Reaktoren aus winzigen, gasdicht umhüllten Teilchen von weniger als einem Millimeter-Bruchteil Durchmesser. Einige zehntausend solcher Brennstoffteilchen bilden das »Fleisch« eines kugelförmigen Brennelements.

Fusionsreaktor – technisch noch aufwendiger

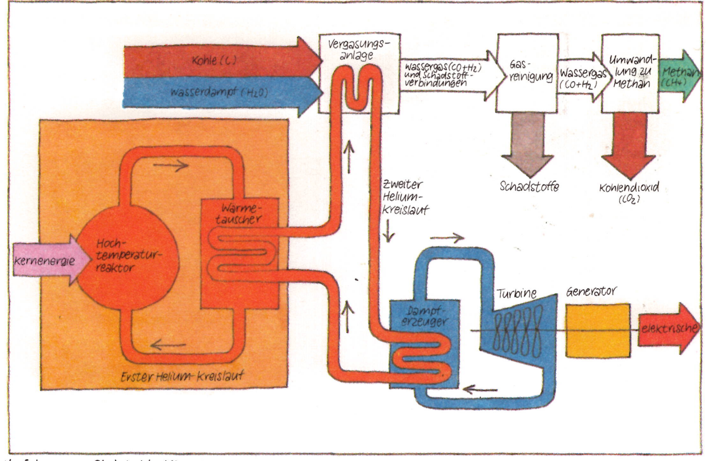
Atomenergie läßt sich nicht nur durch Spaltung von Atomkernen gewinnen. Auch der umgekehrte Weg ist möglich. Wenn die Atomkerne der Wasserstoff-Isotype Deuterium und Tritium miteinander verschmelzen, entsteht Helium. Man erhält dann gleichfalls eine erhebliche Energieausbeute. Der Bau eines Fusionsreaktors ist indessen technisch aufwendiger als der Bau eines Schnellen Brüters, vorausgesetzt, die experimentelle Zähmung der Kernverschmelzung gelingt



Beim Hochtemperatur-Reaktor strömt durch den Reaktorkreislauf Heliumgas. Das Reaktor-Core ist eine regellose Schüttung von Brenn-element-Kugeln in einem kreisrunden Stahlbeton-Behälter.

überhaupt. Auch hier wird flüssiges Metall zur Kühlung benötigt, und die Materialprobleme sind wegen der extremen Wärmebelastung noch größer. Kernverschmelzungsreaktionen verlangen Temperaturen von etlichen Millionen Grad Celsius. Ein so heißes Gas läßt sich nicht mehr von materiellen Wänden zusammenhalten. Man braucht dazu vielmehr Magnetfelder, die in der Lage sind, auf die – als Folge der Erwärmung elektrisch geladenen – Gasatome einzuwirken.

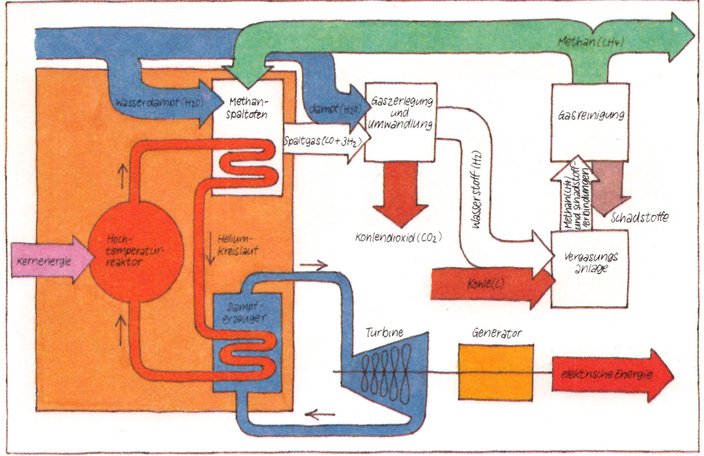
Trotzdem ist das Interesse an der Kernfusion groß. Es rührt nicht zuletzt daher, daß bei Kernverschmelzungsprozessen keine radioaktiven Spaltprodukte entstehen. Was sich als Abfall bildet, ist das Edelgas Helium. Es ist kernphysikalisch inaktiv. Außerdem sind Fusionsreaktoren, wenn man sie einmal wird bauen können, in noch weit größerem Maße inhärent sicher. Nur: man hat das Problem mit dem radioaktiven Tritium, das als Brennstoff benötigt wird.



Verfahren zur Steinkohle-Vergasung

Ein Beispiel für die Nutzung nuklearer Prozeßwärme, zusätzlich zur Stromerzeugung, ist die Gewinnung von synthetischem Erdgas (Methan) aus Steinkohle und Wasserdampf. Die Reaktorwärme wird dazu benutzt, ein energiereiches Treibgas zu erzeugen. Ausgenutzt wird dabei die Temperaturspanne oberhalb des stromerzeugenden Dampfprozesses. Bei den Steinkohle-Vergasungsverfahren früherer Jahrzehnte war die Kohle der einzige Energie-Lieferant und die Methanausbeute blieb gering.

Doch man sollte nicht übersehen, daß auch hier die Strukturmaterialien durch den intensiven Neutronenstrom aktiviert werden und daß daraus auch nach dem Abschalten des Reaktors Zerfallswärme erzeugt wird, die durch Kühlung abgeführt werden muß. Außerdem ist das als Kernbrennstoff verwendete Tritium radioaktiv. Als sehr leichtes Wasserstoffgas hat es die unangenehme Eigenschaft, durch sonst dichte Metallwände hindurchdringen zu können. Von diesem Tritium braucht man bei einem großen Fusions-



Verfahren zur Braunkohle-Vergasung

Ein anderes, mehr zur Vergasung von Braunkohle geeignetes Nuklearwärme-Verfahren besteht darin, den Methan-Spaltofen in den Betonbehälter des Reaktors mit einzubeziehen. Dann kommt man mit einem Helium-Kreislauf aus. Durch Abwandlung des Vergasungsverfahrens läßt sich ein Überschuß an Wasserstoff erzielen, der wiederum zur Verhüttung von Eisenerz benutzt werden kann.

kraftwerks-Reaktor 10 Kilogramm, und es wird einigen Aufwandes bedürfen, um die Tritiumverluste so einzugrenzen, daß für die Umgebung keine Aktivitätsbelastung entsteht.

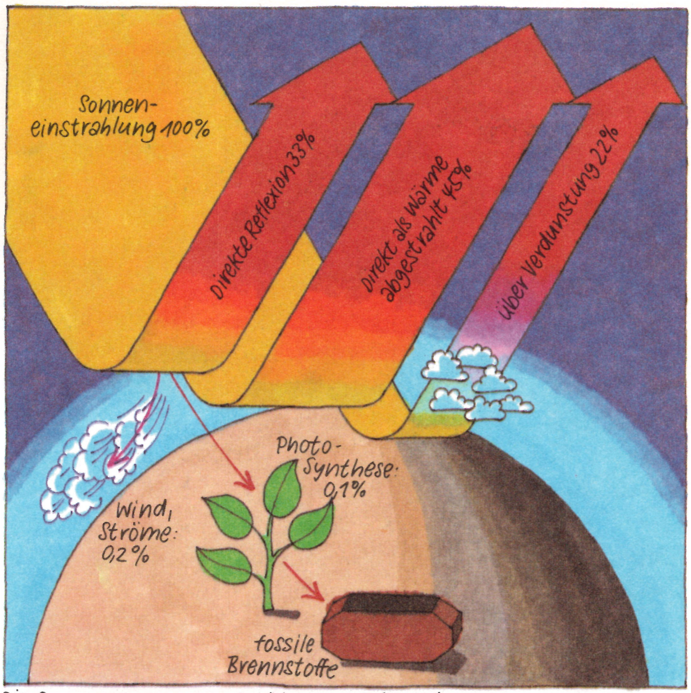
Die Schwierigkeiten des Fusionsreaktors sind nicht unüberwindlich groß. Die Fusionsfachleute selber glauben aber an eine technische Realisierung eines Fusionsreaktors nicht vor Beginn des nächsten Jahrtausends. Der Fusionsreaktor ist keine schnelle Lösung für unsere akuten Energieprobleme.

In noch weiterer Ferne liegen sicherlich andere, nichtnukleare Energie-Quellen. Ob Nutzung der Erdwärme oder der Erdrotation, der Kraft des Windes oder der Sonnenwärme – in keinem Fall handelt es sich um rasch realisierbare Möglichkeiten.

So erscheint es fast grotesk, wenn auf der einen Seite Kernkraftgegner in hohen Tönen die Nutzung der Erdwärme loben, doch Umweltschützer mit allen Mitteln dagegen zu Felde ziehen. Erdenergie-Kraftwerke arbeiten sehr laut und verschmutzen in hohem Maße die Umwelt. Der aus der Erde kommende Dampf enthält meist chemisch aggressive und gesundheitsschädliche Stoffe wie Schwefel, Arsen, Fluor- und Borverbindungen. Diese Dämpfe kann man weder einfach in die Umgebung entweichen lassen noch das Kondensat in benachbarte Flüsse ableiten. Vielfach sieht man keine andere Möglichkeit, als die Verunreinigungen wieder in den Untergrund zurückzupumpen.

Außerdem ist das Potential der Erdwärme-Nutzung zu klein, um unseren Energiebedarf nennenswert entlasten zu können. Für das Anzapfen der Rotationsenergie der Erde mit der Hilfe von Ebbe-und-Flut-Kraftwerken gilt das gleiche. Nur an einigen wenigen trichterförmigen Buchten der Ozeane entstehen so hohe Flutwellen, daß man mit dem dadurch aufgestauten Wasser Kraftwerke betreiben kann.

Die mit der Energiekrise wiederentdeckten Windmühlen waren jahrhundertelang wichtige »Arbeitspferde« beim Mahlen des Getreides, beim Wasserpumpen und bei handwerklichen Verrichtungen. Doch



Die Sonnenein- und Abstrahlung auf die Erde

Die Sonnenenergie, die auf die Erde trifft, wird nahezu vollständig in den Weltraum zurückgestrahlt oder über Verdunstung an die Umgebung abgegeben. Nur ein Bruchteil von 0,1 Prozent wird abgezweigt zur Photosynthese, auf der auch die ehedem von der Natur betriebene Herstellung fossiler Brennstoffe beruht. Sonnenenergie-Nutzung im großen Stil dürfte erst durch die technische Nachahmung der Photosynthese reizvoll werden.

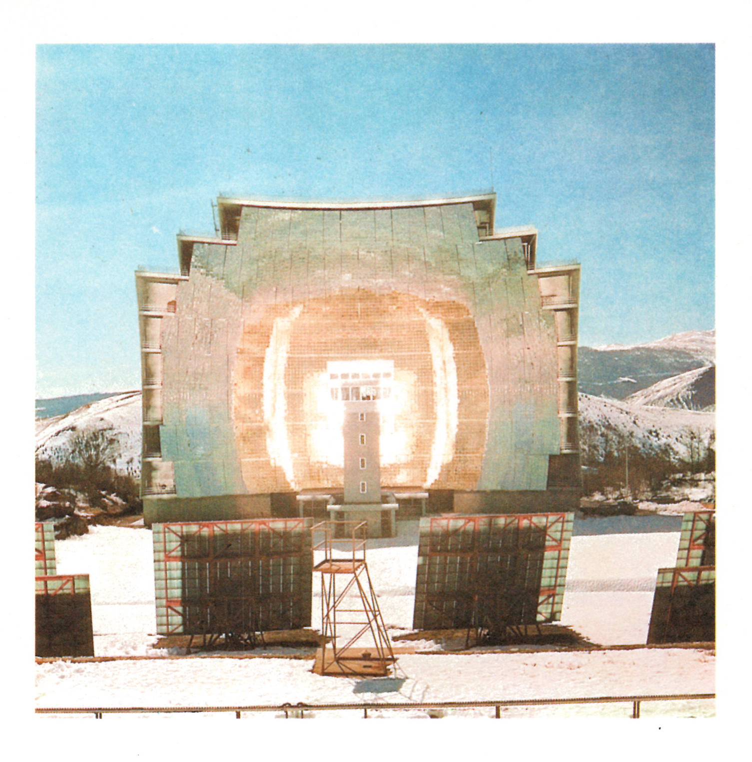
aus gutem Grunde hat die Dampfmaschine die Windmühle verdrängt. Man wollte Arbeitsleistung nicht dann, wenn die Launen des Wetters sie gestatteten, sondern wenn sie tatsächlich gebraucht wurde.

Jetzt haben Windmühlen-Verfechter errechnet, mit Hilfe von 60 000 Windturbinen könne der Strombedarf der ganzen Bundesrepublik gedeckt werden. Man müsse nur je zwanzig dieser Turbinen auf 250 Meter hohe Türme montieren und in Küstennähe etwa 3000 solcher Türme aufstellen. Dazu wäre ein umfangreiches Speichersystem erforderlich oder eine entsprechende Anzahl von Reserve-Kraftwerken herkömmlicher Art, um Windflauten zu überbrücken. – Muß man über solche schwerlich ernst zu nehmenden Vorschläge wirklich noch diskutieren?

Chancen der Sonnenenergie-Nutzung

Von den nichtnuklearen Alternativ-Energien ist allein die Sonnenenergie schon von ihrem Potential her so interessant, daß sich eine Beschäftigung mit ihr lohnt. Die von der Sonne auf die Erdoberfläche gestrahlte Energiemenge ist rund 14 000mal größer als der derzeitige Energieverbrauch der Menschheit. Zudem handelt es sich um Energie, die ohnehin zur Erde gelangt. Sie führt nicht zu Klimaveränderungen, solange man sie dort benutzt, wo sie einstrahlt.

Doch wir in der Bundesrepublik sollten nicht vergessen, daß hier gerade im Winter, wenn der Energiebedarf zunimmt, die Einstrahlung der Sonne abnimmt. Im Sommer können wir pro Quadratmeter und Tag immerhin noch mit der Einstrahlung von 4,5 Kilowatt-



Mit Sonnenenergie arbeitet der »Four Solain« in den französischen Süd-Pyrenäen bei Odeillo. Mit Hilfe des Spiegelsystems läßt sich auf einem kleinen Raum die zum Erschmelzen von Hochtemperatur-Werkstoffen benutzte Sonnenstrahlung konzentrieren. Wollte man auf diese Weise ein Kraftwerk betreiben, müßte das Spiegelsystem unvergleichlich größer sein.

stunden rechnen. Im Winter sind es durchschnittlich nur noch 0,2 bis 0,4 Kilowattstunden. Zu dieser Zeit werden in einem Trockengebiet auf 35 Grad Breite, also etwa in Nordafrika, am Rande der Sahara, pro Tag und Quadratmeter 7,5 Kilowattstunden eingestrahlt. Im Sommer steigt hier die Einstrahlung auf etwa das Doppelte, auf 14 Kilowattstunden.

Damit scheiden für unsere Breiten alle Sonnenenergie-Kraftwerksprojekte aus. Die Kollektoren, mit denen die Energie eingesammelt wird, müßten unerträglich groß sein. Eine wirksame Fläche von der Größe West-Berlins, also rund 500 Quadratkilometer, wäre notwendig, um nur ein 1000-Megawatt-Kraftwerk im Winter zu betreiben. Wenn man solche Sonnenenergie-Kraftwerke am Rande der Sahara, in Südspanien oder Süditalien errichten und den erzeugten Strom nach Mitteleuropa transportieren würde, wären die Investitionen für das Kraftwerk zwar geringer; doch es käme der Aufwand für die Stromübertragung und die damit verbundenen Energieverluste hinzu.

Günstiger sieht es mit der Möglichkeit aus, Häuser durch Sonnenenergie zu heizen. Statt einiger hundert Grad Celsius Dampftemperaturen wie bei einem Kraftwerk genügen dafür schon Wassertemperaturen von 60 bis 80 Grad Celsius. Bei extremer Kälte und verhangenem Himmel kann man auf eine mit Gas oder Öl arbeitende Reserveheizung ausweichen. Die Sonnenenergieheizung von Einzelhäusern könnte die ideale Ergänzung zur Fernheizung mit Kernkraftwerks-Abwärme in Gebieten sein, in denen der Anschluß an die Fernheizung wegen der geringen Wohndichte zu teuer wäre.

Unterdessen sind auch in der Bundesrepublik Versuche mit Experimentierhäusern angelaufen. In Wiehl wird bereits ein Freibad mit Sonnenenergie beheizt, und man kann auch bereits Sonnenenergie-Kollektoren für die Hausheizung kaufen. Nur, die örtlichen Bauaufsichtsbehörden sehen das noch gar nicht gerne.

Nachahmung der Photosynthese?

Eine ganz andere Möglichkeit der Sonnenenergie-Nutzung wäre eine technische Nachahmung des Photosynthese-Prozesses. Das ist ein Vorgang, der in jeder Pflanze wirksam ist. Dabei werden im Blatt der Pflanze chemische Umwandlungen ohne Erwärmung ausgelöst. Wenn es gelänge, dieses von der Natur angewandte Verfahren nachzuahmen, könnte man zum Beispiel daran denken, mit Hilfe des normalen Tageslichts aus Wasser Wasserstoff zu gewinnen. Wasserstoff ist ein vorzüglicher Energieträger.

Doch für eine solche Energietechnik haben wir heute noch nicht einmal die Grundlagen in Händen. Es wäre vermessen, hier schon bald die Entwicklung einer brauchbaren Technik zu erwarten. Solche Überlegungen lassen aber das Entwicklungspotential der Sonnenenergie-Nutzung erkennen und zeigen, in welche Richtung wir weiterarbeiten sollten. Die Sonnenenergie-Technik kann nicht unsere heutigen Energietechniken ersetzen, doch sie dürfte einmal zu ihrer Entlastung beitragen.



Nicht selten sind Proteste – auch gegen Kernkraftwerke – Ausdruck einer Staatsverdrossenheit und Unzufriedenheit mit der Art der politischen Willensbildung in unserer parlamentarischen Demokratie.

Finden wir den Mittelweg?

Irrationalität gehört zum Wesen des Menschen

Die erste Genfer Konferenz über die friedliche Nutzung der Atomenergie, im August 1955, machte deutlich, wie sehr Kernkraftwerke einmal zur Lebensgrundlage unserer Gesellschaft gehören werden. Damals erschien ein Buch von Josef Hausen und Gerhard Löwenthal mit dem bezeichnenden Titel »Wir werden durch Atome leben«. Vor kurzem schrieb Carl Friedrich von Weizäcker für »Die Zeit« eine Artikel-Serie unter der nicht weniger bezeichnenden Überschrift »Ohne Atomkraft leben?«.

Das Grundproblem ist während dieser zwanzig Jahre das gleiche geblieben. Noch immer gilt es, einsehbar zu machen, daß Kernkraftwerke mehr als nur ein Anhängsel oder ein Auswuchs unserer technisch-wissenschaftlichen Entwicklung sind. Doch die Akzente haben sich verschoben. Die Frage lautet heute: Werden wir den Mittelweg finden zwischen notwendigem Fortschritt und lähmender Fortschrittsfurcht?

Unsere Gesellschaft macht einen Prozeß der Umwandlung durch. Nicht länger sollen Expansion und Wachstum die Leitmotive des öffentlichen und persönlichen Handelns sein. Doch wird da dem Menschen nicht zuviel zugemutet? Wenn eine solche Umstellung möglich ist, kann das sicherlich nicht von heute auf morgen geschehen. Es gehört dazu ein langer Erziehungsprozeß, der sich über Generationen erstrecken muß. Nur – haben wir dafür noch die Zeit?

Darum fühlen sich die Menschen unserer Zeit weit mehr verunsichert als ihre Eltern und Großeltern. Nicht einmal der Fortschrittsglaube, die Ersatzreligion des Materialismus, ist ihnen geblieben. Und es erscheint verständlich, daß ihre Verunsicherung Symbole und Kristallisationspunkte braucht.

Vielleicht geht es uns zu gut

Andere Motive kommen hinzu. So müssen wir uns ernsthaft fragen, ob es uns nicht vielleicht einfach zu gut geht. Vielleicht fehlt es uns an Verständnis dafür, daß unser Wohlstand kein Gottesgeschenk ist, sondern in irgendeiner Form erkauft werden muß. Wir können nicht in unseren Fabriken, in unserem Haushalt und bei allen sonst noch möglichen Gelegenheiten ein Riesenheer von »Energie-Sklaven« für uns arbeiten lassen, ohne dafür bezahlen zu wollen. Diese Bezahlung besteht darin, mit dem Restrisiko der Kernenergie zu leben.

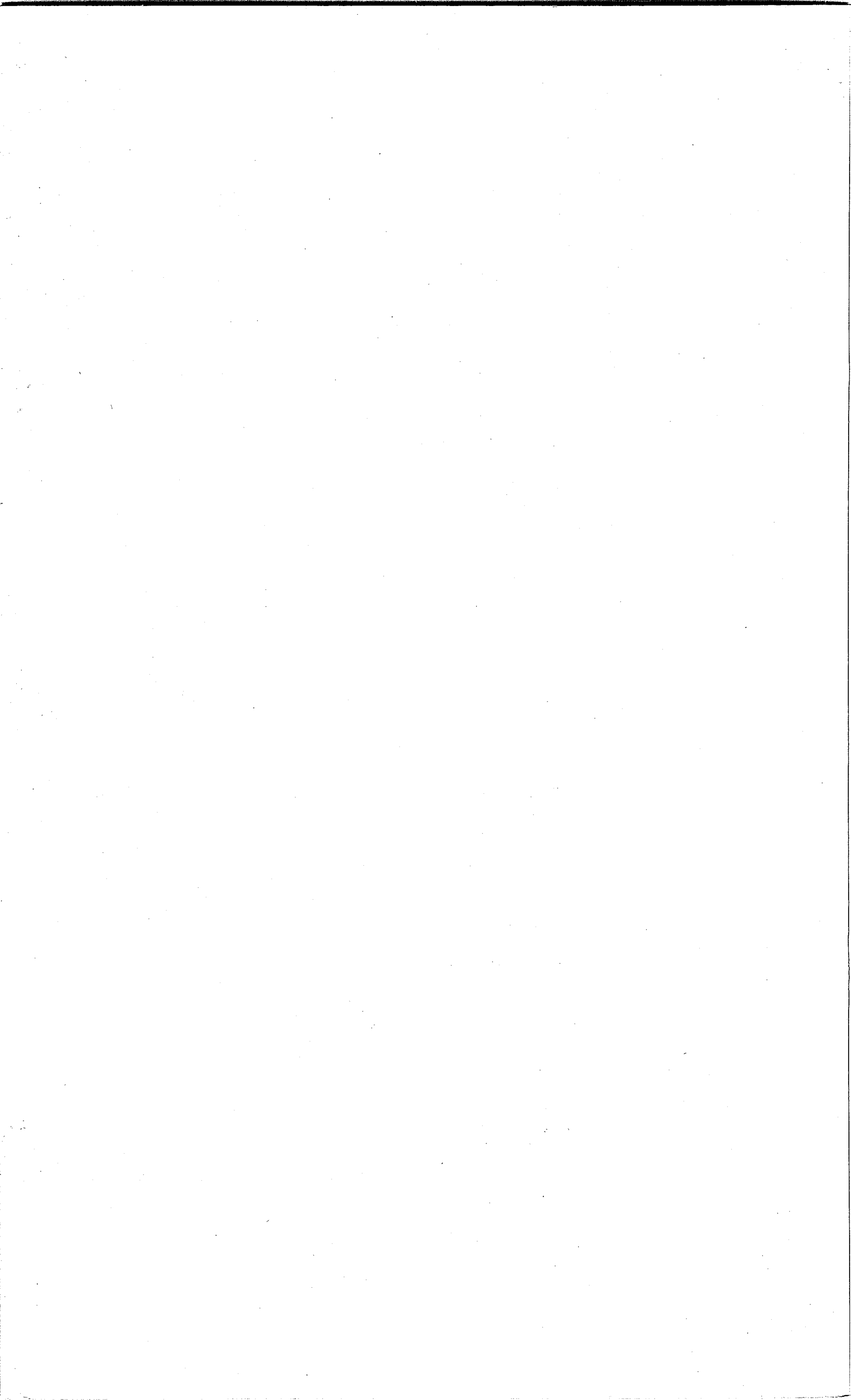
Oft sind die Proteste gegen Kernkraftwerke auch Ausdruck einer Staatsverdrossenheit und Unzufriedenheit mit der Art der politischen Willensbildung in einer parlamentarischen Demokratie. Nicht ohne Grund ist es »in«, zu protestieren und zu demonstrieren. Zumindest möchte man »denen da oben« einmal ordentlich einheizen.

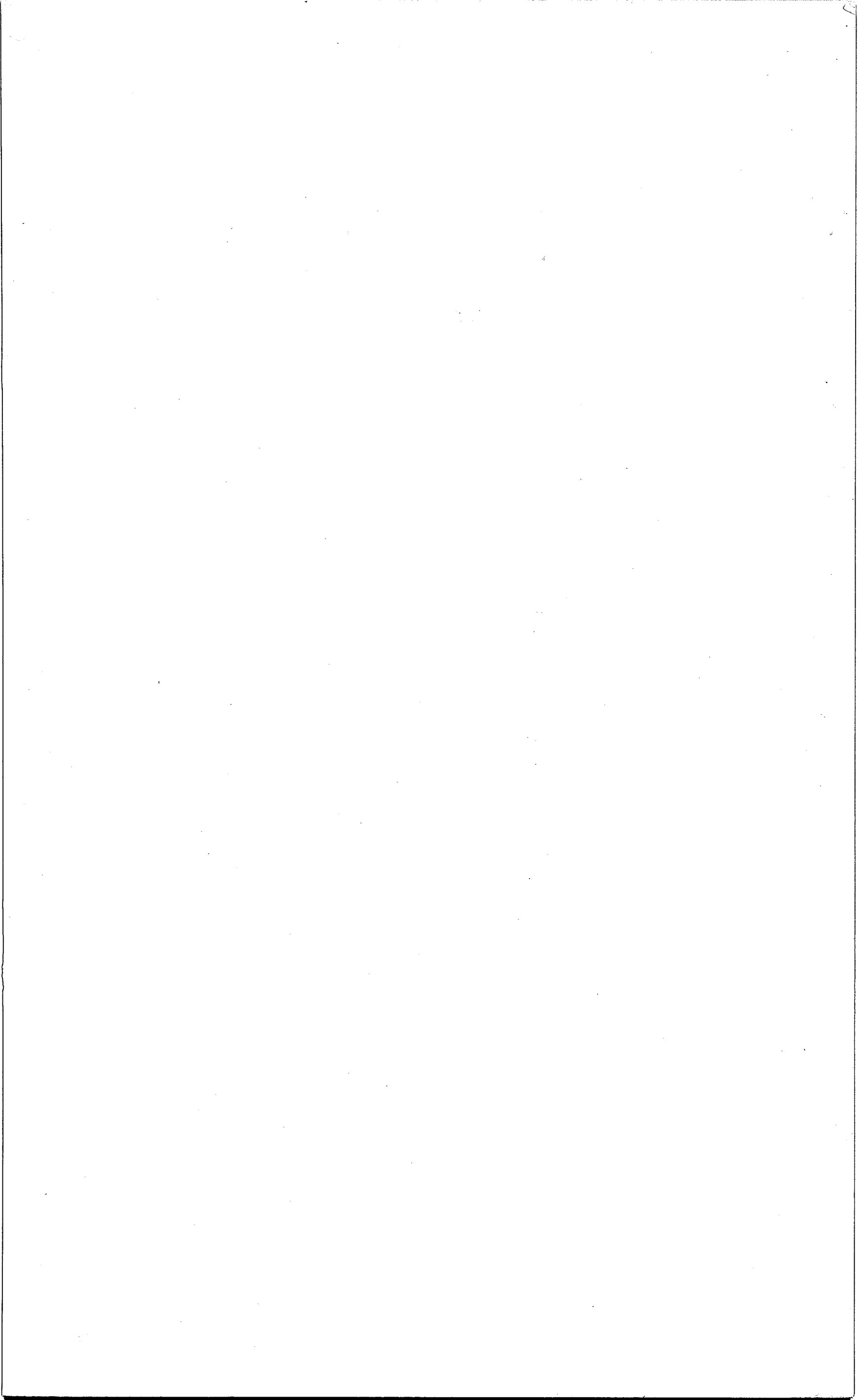
Vielleicht sollte man auch einmal an die Gefahren denken, die durch die Nichtverwendung der Kernenergie heraufbeschworen würden. Schon jetzt haben die Entwicklungsländer unter den steigenden Erdölkosten mehr zu leiden als wir. Sie bringen vielfach schon nicht

mehr die Mittel auf, im bisherigen Umfang das für ihre Wirtschaft notwendige Öl zu importieren. Wenn der Energiemarkt nicht durch die Kernkraft entlastet würde, träte ein, was Bennet Lewis, ein kanadischer Energie-Experte, vor kurzem bei einer öffentlichen Veranstaltung etwas pathetisch so ausgedrückt hat: »Gegenwärtig führt der Ruf »Krebs« oder »genetisches Risiko oder »Reaktor-Explosion« zu einer Erhöhung der Gefahr von Massenhungersnot in der Welt. Die Gefahren sind nicht die, die in diesem Schlagwort suggeriert werden, denn sie sind durch technische Vorkehrungen gebannt. Die Wahrheit ist, daß ohne weitere Entwicklung der Kernenergie Hunger und Unterernährung in der Welt weiter um sich greifen würden, Hand in Hand mit all den Krankheiten, die mit Not einhergehen.«

Bundespräsident Walter Scheel hat im Frühjahr 1977 anläßlich der Verleihung des Theodor-Heuss-Preises festgestellt: »Es ist nicht nur die Sorge um unsere wirtschaftliche Grundstruktur, es ist auch die Sorge um den Weltfrieden, die mich zu einem Befürworter der Kernenergie macht.«

Wer heute in Sachen Kernkraftwerke Entscheidungen fällen muß, braucht vor allem Geduld. Ein realistisches Gefühl für eine Wahrscheinlichkeitsrechnung zu bekommen ist schwierig und erfordert Phantasie. Viel Geduld ist erforderlich, um bei den betroffenen Laien auf ihre Ängste einzugehen und das notwendige Verständnis zu wecken. Skepsis und Irrationalität gehören nun einmal zum Wesen des Menschen, und im Grunde genommen ist das auch ganz gut so.





Dies ist ein Buch, das auch dem Leser ohne technische Vorkenntnisse die Zusammenhänge der Kernenergie verständlich macht.
Robert Gerwin gibt eine kenntnisreiche und anschauliche Sachinformation über die wirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Grundlagen einer friedlichen Nutzung der Kernenergie. Er zeigt auf, warum wir die Kernenergie brauchen, entschleiert die Geheimnisse der entfesselten und dennoch gebändigten Kräfte in modernen Kernreaktoren, entwirft ein plastisches Bild künftiger Entwicklungen in der Bundesrepublik und in der Welt und setzt sich kritisch mit vermeintlichen wie tatsächlichen Risiken der Kernenergie auseinander. Sein Buch stellt dem weit verbreiteten Unwissen konkrete Informationen gegenüber.
Eine Fülle farbiger Illustrationen ermöglicht es, Wesen und Bedeutung der Kernenergie leicht zu erfassen.
Vom gleichen Autor erschienen im ECON-Verlag: „Prometheus wird nicht sterben – Energie für Heute und Morgen" und in dieser Taschenbuchreihe „So ist das mit der Entsorgung"



24503203